

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
MARCOS VINÍCIUS MARTINS BASSACO

**NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO NO CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DE
Eucalyptus urophylla X *Eucalyptus grandis* EM DOIS SÍTIOS NO ESTADO DO
PARANÁ**

CURITIBA
2018

MARCOS VINÍCIUS MARTINS BASSACO

NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO NO CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DE
Eucalyptus urophylla x *Eucalyptus grandis* EM DOIS SÍTIOS NO ESTADO DO
PARANÁ

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação
em Ciência do Solo, Setor de Ciências
Agrárias, Universidade Federal do Paraná,
como requisito parcial à obtenção do título de
Doutor em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos Vargas Motta

Coorientador: Prof. Dr. Volnei Pauletti

CURITIBA

2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO SISTEMA DE BIBLIOTECAS/UFPR -
BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, DOUGLAS ALEX JANKOSKI CRB 9/1167
COM OS DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

B317n

Bassaco, Marcos Vinícius Martins

Nitrogênio, Fósforo e Potássio no crescimento e nutrição de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em dois sítios no estado do Paraná / Marcos Vinícius Martins Bassaco. - Curitiba, 2018.

82 f.: il., grafs., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo.

Orientador: Antônio Carlos Vargas Motta

Coorientador: Volnei Pauletti

1. Reflorestamento. 2. Eucalipto - Nutrição. 3. Eucalipto - Cultivo. 4. Solo florestal. I. Motta, Antônio Carlos Vargas. II. Pauletti, Volnei. III. Título. IV. Universidade Federal do Paraná.

CDU 582.883.4



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIAS DO SOLO


TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS DO SOLO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **MARCOS VINÍCIUS MARTINS BASSACO** intitulada: **Nitrogênio, fósforo e potássio no crescimento e nutrição de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em dois sítios no estado do Paraná**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua aprovação no rito de defesa.


A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

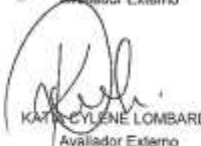
Curitiba, 26 de Fevereiro de 2018.


ANTONIO CARLOS VARGAS MOTTA
Presidente da Banca Examinadora


ANTONIO FRANCISCO JURADO BELLOTE
Avaliador Externo


MÁRCIA TOFFANI SIMÃO SOARES
Avaliador Externo


JOSILEIA ACORDI ZANATTA
Avaliador Externo


KATIA CYRENE LOMBARDI
Avaliador Externo

A minha esposa Francielle, aos meus filhos Lorenzo e Nicolas, aos meus pais, Natal
e Edna.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Antônio Carlos Vargas Motta pela orientação e acima de tudo a amizade. Aos Professores Dr. Volnei Pauletti e Dra. Silvana Nisgoski pela disponibilidade na coorientação do trabalho.

Aos colegas de pós-graduação: Carla Ferreira, Julierme Barbosa, Osmael Portela e Rangel Consalter, pela amizade e disposição em ajudar na implantação e medição dos experimentos. Aos meus alunos Anderson Walzack, Aline Soares de Paula, Diego Pawuk, Milena Pereira, Mateus Alves, Nikelan Rox e Rennan Ruivo pelo companheirismo e disposição em ajudar voluntariamente a realização do experimento.

A servidora Fabiane Gavelaki do Laboratório de Nutrição de Plantas, aos funcionários do Fertilidade e Química dos Solos. Ao Hilbert Blum pela ajuda no Laboratório de Biogeoquímica. Aos professores e funcionários do Programa de Pós-graduação em Ciências dos solos da UFPR, principalmente a Denise de Conti.

A Florestal Vale do Corisco pela disponibilização das áreas e a todos os funcionários que colaboraram com o trabalho, principalmente ao Felipe Perucio.

A FAJAR – Faculdades Jaguariaíva pelo apoio e incentivo para concluir essa etapa acadêmica, em especial a Coordenadora do curso de Eng. Florestal Daniella Magossi.

À minha querida esposa Francielle Terumy Massago Bassaco, que esteve presente em todos os momentos deste trabalho, sempre apoiando, e especialmente, dando sentido, motivação e amor a cada passo meu neste período. Aos meus filhos Lorenzo e Nicolas pela paciência e belos momentos proporcionados durante este percurso.

Aos meus pais Natal e Edna pelo apoio e incentivo aos estudos, e toda a minha família, sem eles nada seria possível.

A todos que de alguma forma colaboraram para execução deste trabalho.

RESUMO

O conhecimento sobre necessidade e quantidade dos macronutrientes N, P e K a ser aplicada na adubação do eucalipto são ainda escassas em condições subtropicais. Neste sentido, o estudo tem por objetivo estabelecer a melhor dose de N, P e K para o crescimento inicial e sua influência na nutrição de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis* (*Eucalyptus urograndis*). Os experimentos foram instalados em Latossolos Vermelho-Amarelo Distrófico de textura franco-arenosa, no município de Jaguariaíva e Ventania, estado do Paraná, Brasil. Os solos apresentavam baixos níveis de P e K disponível, e nível alto de matéria orgânica. No experimento de N e P foram testadas as seguintes doses, 0; 30; 60; 120 e 240 kg ha⁻¹ de N e P₂O₅; enquanto que para o K foram avaliadas as doses de 0; 35; 70; 140 e 280 kg ha⁻¹ de K₂O, estas doses foram parceladas quatro vezes, uma de base e três de cobertura aos 3, 9 e 12 meses de idade. Também foram aplicados 200 kg ha⁻¹ de fosfato natural reativo (FNR) no momento da subsolagem. A resposta a adubação foi avaliada em função da altura total (H), diâmetro a altura do peito (DAP), do volume real total do tronco (V) e do estado nutricional ao longo de 36 meses. Em todas as avaliações, as adições de N não influenciaram os parâmetros de crescimento e nutricional. O fósforo aumentou o crescimento até o 24º mês, os ganhos máximos foram 56 % e 59 % para variável DAP nos meses 9 e 6 para Jaguariaíva e Ventania, respectivamente, com a taxa de 240 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Porém não houve alteração na concentração foliar de P em todos os períodos avaliados. O potássio melhorou o crescimento somente após o 24º mês, com dose de máxima eficiência técnica de 200 kg ha⁻¹ de K₂O, proporcionando um volume de 163 m³ ha⁻¹ em Jaguariaíva. As alterações nutricionais de K iniciaram a partir do 24º e permaneceram até o 36º mês, no sítio Jaguariaíva. Em conclusão, não houve resposta a aplicação de N pela alta quantidade de matéria orgânica e serapilheira. O eucalipto respondeu ao fosfato solúvel através do maior crescimento inicial, até o segundo ano, sugerindo que a dose de 200 kg ha⁻¹ de FNR seja suficiente a médio prazo. A aplicação de K resultou em aumento de crescimento em Jaguariaíva a partir do segundo ano. Apenas a fertilização com K aumentou a concentração foliar do mesmo.

Palavras-chave: Reflorestamento. Fertilização florestal. Eucalipto. Subtropical. Solo florestal.

ABSTRACT

The knowledge about the need and quantity of the macronutrients N, P and K in the eucalyptus fertilization are still scarce under subtropical conditions. In this sense, the study aims to establish the rates of N, P and K, which provided the highest growth and its influence on the nutrition of the hybrid *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis* (*Eucalyptus urograndis*). The experiments were established in Oxisol dystrophic sandy texture, in Jaguariaíva and Ventania counties, Paraná State – Brazil. The used soils had low P and K availability and high level of organic matter. Five rates of N and P were tested: 0; 30; 60; 120 e 240 kg ha⁻¹ de N e P₂O₅; while for the K was tested: 0; 35; 70; 140 e 280 kg ha⁻¹ de K₂O. The fertilizer application was split four equal parts and applied at establishment and 3, 9 and 12 months after planting. All experimental plots received 200 kg há⁻¹ of reactive natural phosphate (RNP) during subsoiling. The plant response was assessed by measuring the total height (H), diameter at breast height (DBH) and real total timber volume as well as nutritional status during 36 months. At all assessments, N additions did not influence growth and nutritional parameters. Phosphorus enhanced growth until the 18th month, with maximum gains of 56 % and 59 % at 9 and 6 months for Jaguariaíva and Ventania, respectively. However, there was no change in the foliar P concentration in all evaluated periods. Potassium improved growth only after the 24th month. The maximum growth occurred when 200 kg ha⁻¹ of K₂O was applied, providing 163 m³ ha⁻¹ of total timber at the Jaguariaíva site. In conclusion, there was no response to the application of N due to the high-level soil organic matter and litter from previously crop. Eucalypt responded to soluble phosphate over initial growth up to the second year, suggesting that the application of 200 kg ha⁻¹ of RNP was enough in the medium term. The application of K resulted in increased growth in Jaguariaíva sites after the second year. Only K fertilization increased leaf concentrations of K.

Key-Words: Reforestation. Forest fertilization. Eucalyptus. Subtropical. Forest soil.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	9
REFERÊNCIAS	11
2 CAPÍTULO 1. CRESCIMENTO DO EUCALYPTUS UROGRANDIS SOB DOSES CRESCENTES DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO EM DOIS SÍTIOS FLORESTAIS NO SUL DO BRASIL	14
2.1 RESUMO	14
2.2 ABSTRACT	15
2.3 INTRODUÇÃO	16
2.4 MATERIAL E MÉTODOS	18
2.5 RESULTADOS	22
2.6 DISCUSSÃO	26
2.7 CONCLUSÕES	30
REFERÊNCIAS	31
3 CAPÍTULO 2. COMPOSIÇÃO FOLIAR DE EUCALYPTUS UROGRANDIS EM DOIS SÍTIOS ADUBADOS COM N, P E K NO SUL DO BRASIL	36
3.1 RESUMO	36
3.2 ABSTRACT	37
3.3 INTRODUÇÃO	38
3.4 MATERIAL E MÉTODOS	39
3.4.1 Caracterização da área de estudo.....	39
3.4.2 Instalação das unidades amostrais.....	40
3.4.3 Análises foliares	41
3.4.4 Teste deficiência de potássio	42
3.5 RESULTADOS	43
3.5.1 Concentração dos macronutrientes N, P e K.....	43
3.5.2 Efeito da adubação N, P e K na concentração dos micronutrientes e outros elementos	45
3.5.3 Variação temporal dos macros, micronutrientes e outros elementos no tecido foliar ao longo do tempo.....	45
3.5.4 Teste de deficiência de potássio	49
3.6 DISCUSSÃO	49

3.6.1 Concentração dos macronutrientes N, P e K.....	49
3.6.2 Variação temporal dos macros, micronutrientes e outros elementos no tecido foliar	52
3.6.3 Teste de deficiência de potássio	54
3.7 CONCLUSÃO	54
REFERÊNCIA.....	55
4 CONCLUSÃO GERAL.....	59
REFERÊNCIAS	60
APÊNDICES	66

1 INTRODUÇÃO GERAL

As plantas do gênero *Eucalyptus* são originárias predominantemente da Austrália e compreendendo uma grande quantidade de espécies, fato que possibilita diferentes formas de utilização, como fabricação de papel, celulose, siderurgia, indústria moveleira, produção de energia, chapas e óleos (Higa et al., 2006).

Trata-se do gênero florestal mais plantado no Brasil, no ano de 2016 correspondia a uma área 5,63 milhões de hectares, sendo o estado do Paraná o sexto em área plantada (IBÁ, 2017). Essa abrangência territorial faz com que a espécie seja cultivada em uma grande diversidade de solos e climas. Especificamente no clima subtropical, com rápidas quedas na temperatura culminando com a ocorrência de geadas, restringiu sua expansão, majoritariamente devido aos danos ou mortes das plantas no estágio inicial de crescimento. Contudo, nos últimos anos, vêm ocorrendo o aumento progressivo dos plantios no estado em áreas anteriormente ocupadas por pinus.

Isso vem ocorrendo por ser uma planta de rápido crescimento, segundo a IBÁ (2017) com um incremento médio anual (IMA) no Brasil de aproximadamente $42,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ considerado o maior do mundo.

Dentre tantas espécies de eucaliptos plantados no Brasil o cruzamento do *Eucalyptus urophylla* com *E. grandis* está entre os mais utilizados. Trata-se de um híbrido desenvolvido no Brasil com o objetivo de obter plantas com um bom crescimento e homogeneidade do *E. grandis* e um leve aumento na densidade da madeira e melhorias no rendimento e propriedades físicas da celulose, além da rusticidade e resistência ao déficit hídrico, características do *E. urophylla* (Gouvêa et al., 1997; Carvalho, 2000; Montanari et al., 2007).

Em relação ao solo, mesmo o eucalipto sendo considerado uma espécie eficiente quanto ao uso dos nutrientes em solos de baixa fertilidade, elevados ganhos vêm sendo obtidos pela aplicação de fertilizantes (Barros & Novais, 1996; Barros et al., 2005). Segundo Sgarbi (2002) a deficiência nutricional ocorre principalmente para o N, P, K, Ca, Mg, S, B e Zn, podendo comprometer a produtividade e a sustentabilidade ao longo das rotações.

Dessa forma, Novais et al. (1990) afirmam haver uma correlação positiva e estreita entre a taxa de acúmulo de nutrientes e a taxa de crescimento, e as exigências

nutricionais dependem de diversos fatores, como idade da planta, material genético e sítio. Gonçalves et al. (1997) relacionando o aporte de nutriente com as fases de crescimento, estratificaram o ciclo do eucalipto em três fases: (i) na fase inicial as taxas de acúmulo de biomassa e nutrientes são baixas, e o fósforo é o nutriente demandado em maior quantidade; (ii) na segunda fase as taxas de crescimento e acúmulo de nutrientes são elevadas e a planta demanda em maiores quantidade nitrogênio e potássio; (iii) já a terceira fase do ciclo é caracterizada por baixa taxa de acúmulo de nutrientes e estabilização na taxa de crescimento. A duração de cada fase varia com a disponibilidade de fatores como clima (radiação solar, temperatura e precipitação pluvial), material genético e nutrientes.

Considerando o último fator, Gonçalves et al. (2004) relataram que o comportamento do eucalipto à adubação nitrogenada é bastante variável, sendo que em regiões com altos teores de nitrogênio orgânico do solo, a mineralização foi suficiente para suprir a demanda não respondendo à adubação, porém em locais com exploração excessiva do solo ao longo das rotações, as respostas à adubação nitrogenada são frequentes, devido à saída de nitrogênio e o esgotamento do N orgânico.

O fósforo é um dos nutrientes que mais limita o crescimento do eucalipto, principalmente pela sua baixa disponibilidade em solos altamente intemperizados e sua alta capacidade sortiva. Assim, aplicações de fósforo próximo às raízes das plantas, devido à sua fixação no solo, no primeiro mês de plantio têm demonstrado respostas positivas (Gonçalves et al., 2004).

Em plantios de eucaliptos, onde o solo apresenta deficiência de potássio, devido à remoção sucessiva via colheita e retirada da biomassa ou pela baixa fertilidade natural, a reposição do potássio é fundamental para garantir o crescimento da planta (Gava, 1997).

Como descrito, muitos são os trabalhos sobre os ganhos em produtividade com a fertilização adequada do eucalipto. Porém em relação ao estado nutricional das plantas as informações ainda são restritas e não apresentam informações suficiente para o correto diagnóstico.

Nesse sentido diversos países vêm estabelecendo níveis críticos de nutrientes foliares para a maioria das espécies com finalidade de auxiliar na recomendação de fertilizantes (Millner & Kemp, 2012). No Brasil faixas críticas foliares para eucalipto

foram estabelecidas por Malavolta (1997), Silveira et al. (2000) e Gonçalves (2011) sob condição tropical, e Dell et al. (2002) na Austrália (FIGURA 1).

FIGURA 01. Faixas críticas das concentrações foliares de N, P e K consideradas adequadas para eucalipto.



Fonte: O autor (2018).

Pode-se observar através da figura 1 a grande variação de amplitudes das faixas, bem como os limites inferiores e superiores divergentes que cada autor definiu. O nitrogênio é o nutriente que mais apresenta proximidade de valores. No entanto o P e K as faixas são distintas para o que pode ser considerado adequado. Enquanto para alguns os valores seriam ideais para outros poderiam apresentar deficiência ou excesso.

Observa-se que no Brasil as faixas críticas para o eucalipto se encontram desatualizado, contendo poucas informações por espécies, idade, produtividade e principalmente para condições subtropicais.

Assim o presente trabalho tem por objetivo estudar o efeito da aplicação de doses crescentes de nitrogênio, fósforo e potássio no crescimento e estado nutricional de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake x *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden (*Eucalyptus urograndis*).

REFERÊNCIAS

- BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. Fertilidade de solos, nutrientes e produção florestal. *Revista Visão Agrônômica*, 4:76-79, 2005.
- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil. In: ATTIWILL, P. M.; ADAMS, M. A., (eds). *Nutrition of eucalypts*. Collingwood, CISRO, 1996, p.335-356.

CARVALHO, A. M. Valorização da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha. 2000. (Dissertação de Mestrado). ESALQ, USP, Piracicaba, 128f.

DELL, B.; MALAJCZUK, N.; XU, D.; GROVE, T. S. Nutrient disorders in plantation eucalypts. Canberra: ACIAR, 2 ed., 2002. 188 p.

GAVA, J. L. Efeito da adubação potássica em plantios de *E. grandis* conduzidos em segunda rotação em solos com diferentes teores de potássio trocável. Série Técnica, IPEF, 11:89–94, 1997.

GONÇALVES, J. L. M. Fertilização de plantação de eucalipto. In: GONÇALVES, J. L. M.; PULITO, A. P.; ARTHUR JÚNIOR, SILVA, L. D. (Eds.). In: Encontro Brasileiro de Silvicultura, 2011, Piracicaba, Anais, Piracicaba: PTSM/IPEF/ESALQ/FUPEF, p. 85-114, 2011.

GONÇALVES, J. L. M.; BARROS, N. F.; NAMBIAR, E. K. S.; NOVAIS, R. F. Soil and stand management for short-rotation plantations. In: NAMBIAR, S.; BROWN, A. (Eds). Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forest. Canberra: ACIAR Austrália/CSIRO Austrália/CIFOR Indonésia, 1997, p. 379-418.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; LACLAU, J. P.; SMETHURST, P.; GAVA, J. L. Silvicultural effects on the productivity and wood quality of eucalypt plantations. Forest Ecology and Management, 193:45–61, 2004.

GOUVEA, C. F.; MORI, E. S, BRASIL, M. A. M.; VALLE, C.F; BONINE, C. A. V. Seleção fenotípica por padrão de proporção de casca rugosa persistente em árvores de *Eucalyptus urophylla* S. T Blake, visando formação de população base de melhoramento genético: qualidade da madeira. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALIPTS, Salvador, 1997. Anais. Colombo: EMBRAPA, CNPF, v.1, 1997, p. 355-360.

HIGA, R. C. V.; MORA, A. L.; HIGA, A. R. Plantio de eucalipto na pequena propriedade rural. 2.ed. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2006, 32 p.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). Relatório indústria brasileira de árvores. Brasília, 2017. 80 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MILLNER, J. P.; KEMP, P. D. Foliar nutrients in *Eucalyptus* species in New Zealand. New Forest, 43:255 - 266, 2012.

MONTANARI, R.; MARQUES JUNIOR, J.; CAMPOS. M. C. C.; CALVALCANTE, I. H. L. Níveis de resíduos de metalurgia e substratos na formação de mudas de eucalipto (*Eucalyptus urograndis*). Revista de Biologia e Ciência da Terra, 7:59-66, 2007.

NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Nutrição mineral do eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F., eds. Relação solo-eucalipto. Viçosa, UFV, 1990, p. 25-98.

SGARBI, F. Produtividade do *Eucalyptus sp.* em função do estado nutricional e da fertilidade do solo em diferentes regiões do Estado de São Paulo. 2002. (Dissertação de Mestrado) ESALQ/USP, Piracicaba, 114f.

SILVEIRA, R. L. V. A.; HIGASHI, E. N.; GONÇALVES, A. N.; MOREIRA, A. Avaliação do estado nutricional de *Eucalyptus*: Diagnose visual, foliar e suas interpretações. In: GONÇALVES, A. N.; BENEDETTI, V. (eds). Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba: IPEF, 2000. p 79 - 104.

2 CAPÍTULO 1. CRESCIMENTO DO *Eucalyptus urograndis* SOB DOSES CRESCENTES DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO EM DOIS SÍTIOS FLORESTAIS NO SUL DO BRASIL

2.1 RESUMO

Embora as áreas plantadas com eucaliptos tenham aumentado sob as condições subtropicais do sul do Brasil, a adubação seguiu práticas de regiões tropicais. O objetivo deste estudo foi determinar a resposta de *Eucalyptus urograndis* a N, P e K em duas regiões do Paraná (Jaguariaíva e Ventania) em Latossolos Vermelho-Amarelo Distrófico franco-arenoso após dois ciclos de colheita de *Pinus taeda*. Cinco doses em separado de N e P_2O_5 (0; 30; 60; 120 e 240 kg ha⁻¹) e K_2O (0; 35; 70; 140 e 280 kg ha⁻¹) foram testadas. Em todos os tratamentos foram aplicados 60 kg ha⁻¹ de P_2O_5 com fosfato natural reativo no sulco quando da subsolagem. A resposta ao tratamento foi avaliada pela determinação da dose de máxima eficiência técnica (DMET), altura (H) e diâmetro na altura do peito (DAP) aos 3, 6, 9, 12, 18, 24, 30 e 36 meses após o plantio e volume aos 36 meses. Em todas as avaliações, as adições de N não influenciaram os parâmetros de crescimento indicando que as demandas de N foram atendidas pela mineralização de matéria orgânica/serapilheira. O fósforo aumentou o crescimento até o 18º mês, com ganhos máximos nos meses 9 e 6 para Jaguariaíva e Ventania (56% e 59% da DAP para a taxa de P_2O_5 de 240 kg ha⁻¹, respectivamente). O potássio melhorou o crescimento somente após o 24º mês. O crescimento máximo ocorreu em 200 kg ha⁻¹ de K_2O com um volume de 163 m³ ha⁻¹ no local de Jaguariaíva. Em conclusão, os resultados indicam que o *Eucalyptus urograndis* cultivado no sul do Brasil responde ao P até o segundo ano e a adubação com K após o segundo ano, mas não a adição de adubo nitrogenado no período avaliado.

Palavras-chave: Solo florestal, Fertilização florestal, Subtropical, Eucalipto.

2.2 ABSTRACT

Although areas planted with eucalyptus have increased under the subtropical conditions of southern Brazil, fertilization has followed practices from nearby tropical regions. The objective of this study was to determine the response of *Eucalyptus urograndis* to N, P, and K in two regions of Parana (Jaguariaíva and Ventania) on a sandy Oxisol following two harvest cycles of *Pinus taeda*. Five rates of N and P₂O₅ (0, 30, 60, 120, and 240 kg ha⁻¹) and K₂O (0, 35, 70, 140, and 280 kg ha⁻¹), were separately tested. Natural phosphate was applied at rate of 60 kg ha⁻¹ of P₂O₅, for whole parcel within subsoiling row. Treatment response was evaluated by determining maximum technical efficiency (MTE), height (H) and diameter at breast height (DBH) at 3, 6, 9, 12, 18, 24, 30, and 36 months after planting, and volume at 36 months. At all assessments, N additions did not influence growth parameters indicating that N demands were supplied by organic matter/litter mineralization. Phosphorus enhanced growth until the 18th month, with maximum gains at months 9 and 6 for Jaguariaíva and Ventania (56% and 59% of DBH for the 240 kg ha⁻¹ P₂O₅ rate, respectively). Potassium improved growth only after the 24th month; maximum rate occurred at 200 kg ha⁻¹ of K₂O with a volume of 163 m³ ha⁻¹ at the Jaguariaíva site. In conclusion, findings indicated that *Eucalyptus urograndis* grown in southern Brazil would be responsive to P until second year and K fertilization after second year, but not to the addition of N fertilizer in the evaluated period.

Keywords: Forest Soil, Forest Fertilization, Subtropical, Eucalypts.

2.3 INTRODUÇÃO

O eucalipto é a espécie florestal mais plantada no Brasil e encontra-se em expansão, sendo cultivada em 2015 em cerca de 5,6 milhões de hectares, numa grande diversidade de solos. No estado do Paraná a área ocupada corresponde a 280.000 ha, resultante do aumento de 162.181 ha entre os anos de 2006 e 2015. Esse rápido aumento dos plantios em clima subtropical não acompanhou a evolução do manejo nutricional dado em outros locais em que o eucalipto é tradicional (clima tropical).

Na região localizada na região Centro-Oriental paranaense e Nordeste paranaense (ambos em clima subtropical), a expansão do cultivo do eucalipto vem ocorrendo principalmente em sucessão ao pinus, diferente das demais regiões do país, onde ocorre sobre pastagem ou renovação do próprio plantio. Uma particularidade do plantio após pinus é ocorrência de serapilheira que pode acumular entre 25 e 90 Mg ha⁻¹ na região (Bizon, 2005). Os solos apesar de serem pobres, esta elevada quantidade de resíduo pode apresentar estoques de nutrientes variando entre 117 e 612 kg ha⁻¹ de Nitrogênio (N), 9 e 19 kg ha⁻¹ de Fósforo (P), 58 e 280 kg ha⁻¹ de Potássio (K), 60 e 200 kg ha⁻¹ de Cálcio (Ca) e 36 e 120 kg ha⁻¹ de Magnésio (Mg) (Bizon, 2005). Tal fato pode ser importante, visto que o eucalipto é considerado uma espécie eficiente quanto ao uso dos nutrientes.

A resposta ao uso de fertilizantes tem sido observada em diversas condições, como, por exemplo, N em solos com pouca matéria orgânica (Barreto et al., 2012), P em solos intemperizados (Maeda & Bognola, 2012; Dias et al., 2015) e K em situação de déficit hídrico (Sampaio et al., 2016).

A recomendação e uso de fertilizantes concentra-se para os macronutrientes N, P e K, sendo a resposta ao uso de N a mais variável e incerta entre os três, dado a influência da ciclagem deste nutriente do resíduo da cultura anterior e capacidade de suprimento pela matéria orgânica do solo (Gama-Rodrigues, et al. 2005; Pulito et al., 2015). Dessa forma, aumento do crescimento com uso de N geralmente tem sido observado em solos onde o processo de mineralização do nitrogênio é baixo, seja pela alta relação C\N ou pela baixa quantidade de matéria orgânica (Gonçalves et al. 2004; Santana et al., 2008; Pulrolnik et al., 2009).

Efeitos positivos da aplicação de P no crescimento de eucalipto tem sido mais frequente e em maior grau, uma vez que os solos brasileiros, em geral, têm baixa disponibilidade e a alta capacidade sortiva e com alto grau de energia, características estas relacionados com o alto grau de intemperismo do solo (Barros & Novais, 1996; Novais et al., 2007). Adicionalmente, os adubos fosfatados utilizados nas florestas podem variar de muito pouco a altamente reativo, fazendo com que a forma de aplicação se torne importante (Maeda & Bognola, 2011; Dias et al., 2015). Assim, aplicações de P localizadas próximo às raízes das plantas até o primeiro mês de plantio, tem promovido significativos incrementos no crescimento das plantas (Fernandez et al., 2000, Gonçalves et al., 2004, Stahl, 2009; Dias et al., 2015).

A adubação fosfatada também tem sido importante no sentido de diminuir o replantio, por induzir a formação das raízes, favorecendo a absorção de água e nutrientes, dessa forma tornando a muda mais resistente após o plantio (Rocha et al., 2013). A aceleração do crescimento com uso de P faz com que diminuam os tratos culturais ou até mesmo promova a antecipação da colheita, podendo elevar o número de ciclos ao longo das rotações.

A baixa disponibilidade de K associada a pouca umidade pode aumentar a resposta do eucalipto a fertilização de K, devido a função desse nutriente no controle da abertura e fechamento dos estômatos (Barros et al., 2014, Sampaio et al., 2016). Nesse sentido, a introdução de eucaliptos em climas subtropicais sem estação seca pode diminuir a resposta a aplicação de K. Entretanto, quando o eucalipto substitui os pinheiros em condições subtropicais e sem adubo, pode haver o esgotamento do K (Motta et al., 2014). Por esta razão, a restituição do K é necessária para garantir o crescimento das plantas (Gava, 1997; Faria et al., 2002; Silva et al., 2012; Biagiotti et al., 2017).

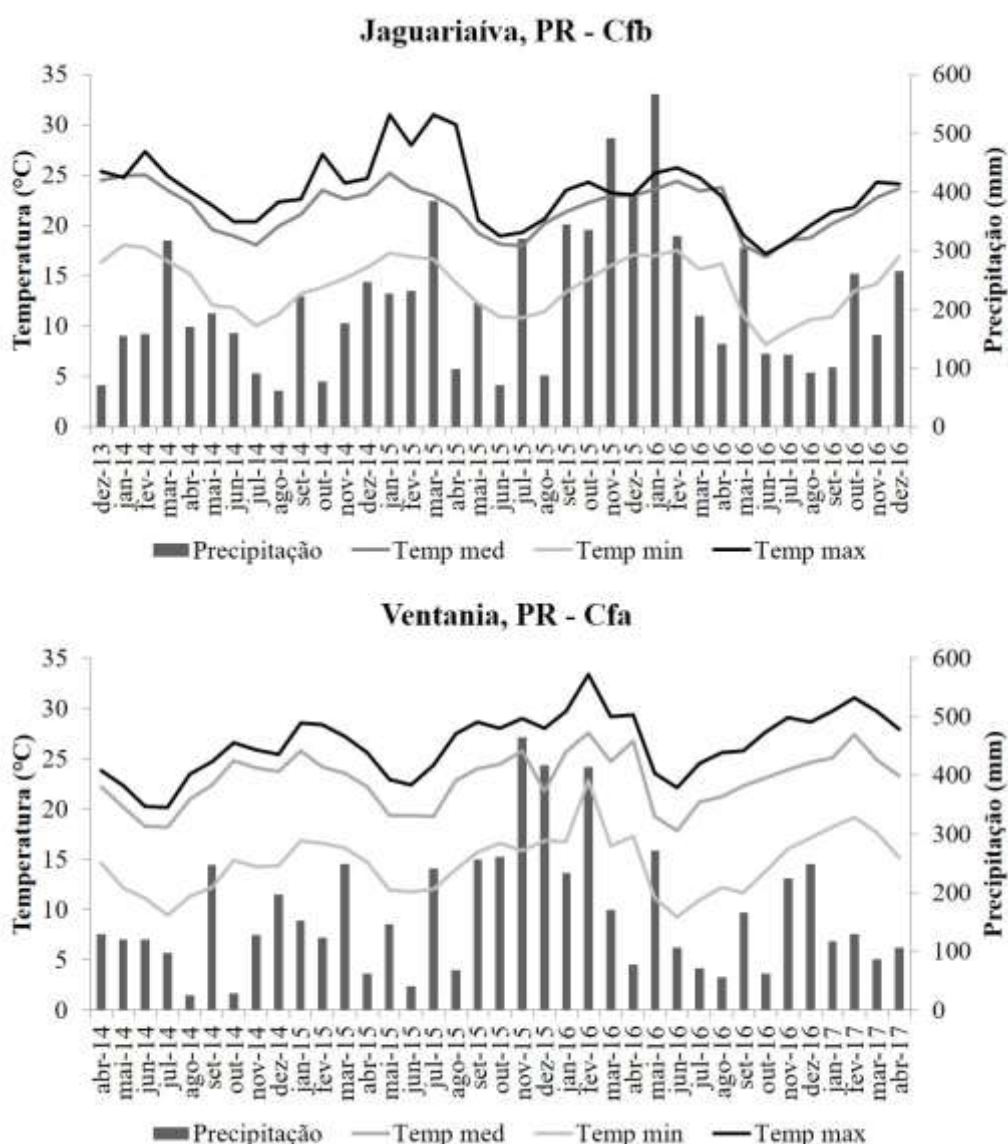
Assim, devido a carência de informações referentes a fertilização do eucalipto em condições subtropicais no estado do Paraná e em solos tradicionalmente utilizados para reflorestamentos, esse trabalho visa estudar o efeito da aplicação de N, P e K no crescimento de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake e *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden (*Eucalyptus urograndis*). Sob a seguinte hipótese, em solos de muito baixa fertilidade, a fertilização de macronutrientes primários (N, P e K) melhorará o metabolismo da planta (de alto potencial), quando aplicada em dose equilibrada, refletindo na melhoria da produtividade.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

As unidades experimentais foram instaladas no estado do Paraná, no município de Jaguariaíva (24° 15' 12" S e 49° 40' 40" O e altitude de 926 m) e no município de Ventania (24° 01' 17,25" S e 50° 15' 39,62" O e altitude de 718 m). A implantação do experimento ocorreu nos meses de dezembro de 2013 em Jaguariaíva e abril de 2014 em Ventania. A área em Jaguariaíva caracteriza-se por ter o relevo suave ondulado e solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, textura franco-arenosa, tendo como formação geológica Arenito Furnas do grupo Paraná. O relevo da área experimental em Ventania varia de suave ondulado a ondulado e o solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico de textura franco-arenosa, sob a formação geológica Arenito Indiferenciado (Rio do Sul, Mafra e Campo do Tenente) do grupo Itararé.

As duas regiões de estudo são caracterizadas segundo Alvares et al. (2013), adaptado de Köppen, como clima subtropical úmido, zona climática C, sendo que Jaguariaíva está no tipo Cfb, onde as temperaturas no verão são mais amenas. Enquanto Ventania está em uma região de transição entre Cfb e Cfa, este caracterizado por verões mais quentes. A temperatura e a precipitação média ao longo dos 36 meses foi de 21,8 °C e 22,9 °C, e 217 mm e 165,7 mm, para Jaguariaíva e Ventania, respectivamente. Todos os dados meteorológicos foram obtidos por estações meteorológicas instaladas próximo as áreas experimentais e estão apresentados na figura 1.

FIGURA 1 – Dados de temperatura mínima (Temp Min), média (Temp med), máxima (Temp Max) e precipitação durante 36 meses; região de Jaguariaíva PR e Ventania, PR. P – Plantio; AB – Adubação de base; AC – Adubação de cobertura



FONTE: O Autor (2018).

As duas áreas experimentais possuíam aproximadamente três hectares cada, com pinus como cultura antecessora, plantado no espaçamento 3 x 2 m. Os plantios foram submetidos ao corte raso com extração de toras e galhos no experimento de Jaguariaíva e enleiramento dos galhos e ponteiros (ápice dos troncos) na área de Ventania.

Após o corte foi realizada amostragem do solo até 100 cm de profundidade para caracterização química dos locais dos experimentos (TABELA 1) seguindo a metodologia descrita pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA,

2009). Também foi realizado o conteúdo total de K no solo através da extração com ácido fluorídrico e digestão em micro-ondas com determinação no espectrofotômetro de chamas (TABELA 1).

TABELA 1. Características químicas das áreas antes do plantio de *Eucalyptus urograndis* nos experimentos, em Jaguariaíva e Ventania, Paraná.

Prof. (cm)	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	K	SB ¹	CTC ²	P	C	V ³	m ⁴	K ⁵
	CaCl ₂								mg dm ⁻³	g dm ⁻³	%		mg/kg
Jaguariaíva													
0-20	3.8	1.5	6.4	0.2	0.2	0.02	0.4	6.8	1.0	23.6	5.3	81.3	450
20-40	3.9	1.2	2.2	0.1	0.1	0.02	0.2	5.5	0.7	16.1	4.0	85.0	440
40-60	4.0	1.0	4.6	0.1	0.1	0.01	0.2	6.0	0.6	17.4	4.3	82.7	440
60-80	4.0	0.9	4.3	0.1	0.1	0.01	0.2	4.5	0.8	14.0	4.7	80.3	460
80-100	4.1	0.8	3.9	0.1	0.1	0.01	0.2	4.1	0.7	10.2	5.0	78.3	400
Ventania													
0-20	4.3	1.5	4.3	0.1	0.1	0.03	0.3	4.6	2.2	21.0	5.9	84.6	400
20-40	4.5	1.1	3.0	0.1	0.1	0.03	0.2	3.3	1.6	11.0	7.1	82.9	450
40-60	4.4	1.2	2.7	0.1	0.1	0.03	0.2	3.0	0.4	7.3	7.8	83.8	450
60-80	4.5	1.3	2.6	0.1	0.1	0.02	0.2	2.9	0.8	6.0	7.8	85.4	450
80-100	4.5	1.1	2.6	0.1	0.1	0.05	0.3	2.9	2.8	6.4	9.7	78.0	450

Fonte: O Autor (2018).

¹SB=Soma de bases; ²CTC=CTC pH=7; ³V=Saturação por bases; ⁴m=Saturação por alumínio; ⁵conteúdo de potássio.

Antes do plantio das mudas nos experimentos, foram aplicadas duas toneladas de calcário dolomítico (PRNT = 82%) por hectare a lanço na superfície do solo, sem incorporação. Após a calagem foi feita a descompactação do solo com a utilização de um subsolador a uma profundidade de 45 cm. Nesta mesma operação foi aplicado 200 kg ha⁻¹ de fosfato natural reativo (29 % de P₂O₅ total e 14 % em ácido cítrico) a uma profundidade de 25 cm.

O plantio das mudas de eucalipto híbrido *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis* (*Eucalyptus urograndis*, clone AEC 224), foi realizado com equipamento manual do estilo matraca, sobre a linha de subsolagem, com espaçamento 3 x 3 m. Após o plantio, foram marcadas parcelas de 576 m² (8 linhas com 8 plantas cada), para compor os experimentos, montados em delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições.

Em cada local foram conduzidos três experimentos. Nos experimentos para avaliar a adubação nitrogenada foram aplicados cinco tratamentos, correspondentes às doses 0, 30, 60, 120 e 240 kg ha⁻¹ de N. No experimento para avaliar a adubação fosfatada, foram aplicadas as doses de 0, 30, 60, 120 e 240 kg ha⁻¹ de P₂O₅, e no experimento para avaliar a adubação potássica, foram utilizadas as doses de 0, 35,

70, 140 e 280 kg ha⁻¹ de K₂O. Essas quantidades foram divididas em quatro partes iguais que foram aplicadas no momento do plantio e aos 90, 270 e 365 dias após o plantio. No momento da aplicação a dose de adubo foi dividida em duas partes iguais, aplicada nos dois lados da muda, a uma distância de 15 cm da mesma, acompanhando a linha de subsolagem. Essas dosagens foram criadas a partir da dosagem utilizada pela empresa (80, 75 e 165 kg ha⁻¹ de N, P e K, respectivamente).

Para completar os nutrientes faltantes nos tratamentos também foram aplicados no plantio 8,5, 51 e 17 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O, respectivamente e outras três adubações de cobertura aos três, nove e 12 meses de idade com 24, 8, 48 e 0,8 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O e B, respectivamente. Em cada experimento, o elemento testado não foi aplicado nestas adubações complementares. As fontes utilizadas em todas as adubações foram ureia (46% de N), superfosfato triplo (45% de P₂O₅), cloreto de potássio (60% de K₂O) e ácido bórico (17% de B).

A mensuração foi realizada aos 3 meses medindo diâmetro do colo (DC) e altura total (H) e aos 6, 9, 12, 18, 24, 30 e 36 meses de idade medindo os diâmetros na altura do peito (DAP) e as alturas totais (H) das 36 árvores centrais da parcela. Os diâmetros foram obtidos com uma fita métrica e as alturas com um hipsômetro eletrônico modelo HANGLÖF.

Também aos 36 meses foi realizada a cubagem pelo método Hohenald da árvore média de cada parcela, obtido através do inventário preliminar. E posteriormente estimado o volume real total das árvores pelas equações de Spurr (1952) e Meyer (1953) para Jaguariaíva e Ventania, respectivamente. As escolhas das equações ajustadas foram avaliadas pelo coeficiente de determinação, erro padrão, coeficiente de variação e análise gráfica dos resíduos (Figueiredo-Filho et al., 2014). Com a determinação do volume do tronco (V), foi calculado o V em m³ ha⁻¹ considerando 4 % de mortalidade e o incremento médio anual (IMA) m³ ha⁻¹ ano⁻¹.

Os dados dendrométricos foram submetidos à análise de variância e quando detectados efeitos significativos foram ajustadas equações de regressão, considerando a probabilidade de 1 % e 5 % ($p < 0,01$ e $p < 0,05$) e o valor do coeficiente de determinação (r^2).

As doses de máxima eficiência técnica (DMET) foram calculadas por meio da primeira derivada da equação da parábola ($X = -b_1/2.b_2$), para as análises foram utilizados os programas Microsoft Excel (2016) e SigmaPlot 10.0.

2.5 RESULTADOS

Aos três anos, a variação geral entre tratamentos na altura foi de aproximadamente 12 % e 6 %, e DAP de 12 % e 7 % para os sítios Jaguariaíva e Ventania, respectivamente. Indicando um crescimento mais homogêneo para o sítio de Ventania. Em Ventania também é observado maior incremento no volume do tronco durante o período avaliado, que foi superior a Jaguariaíva em aproximadamente 18 %; 24 % e 26 %, para N, P e K, respectivamente (TABELA 2).

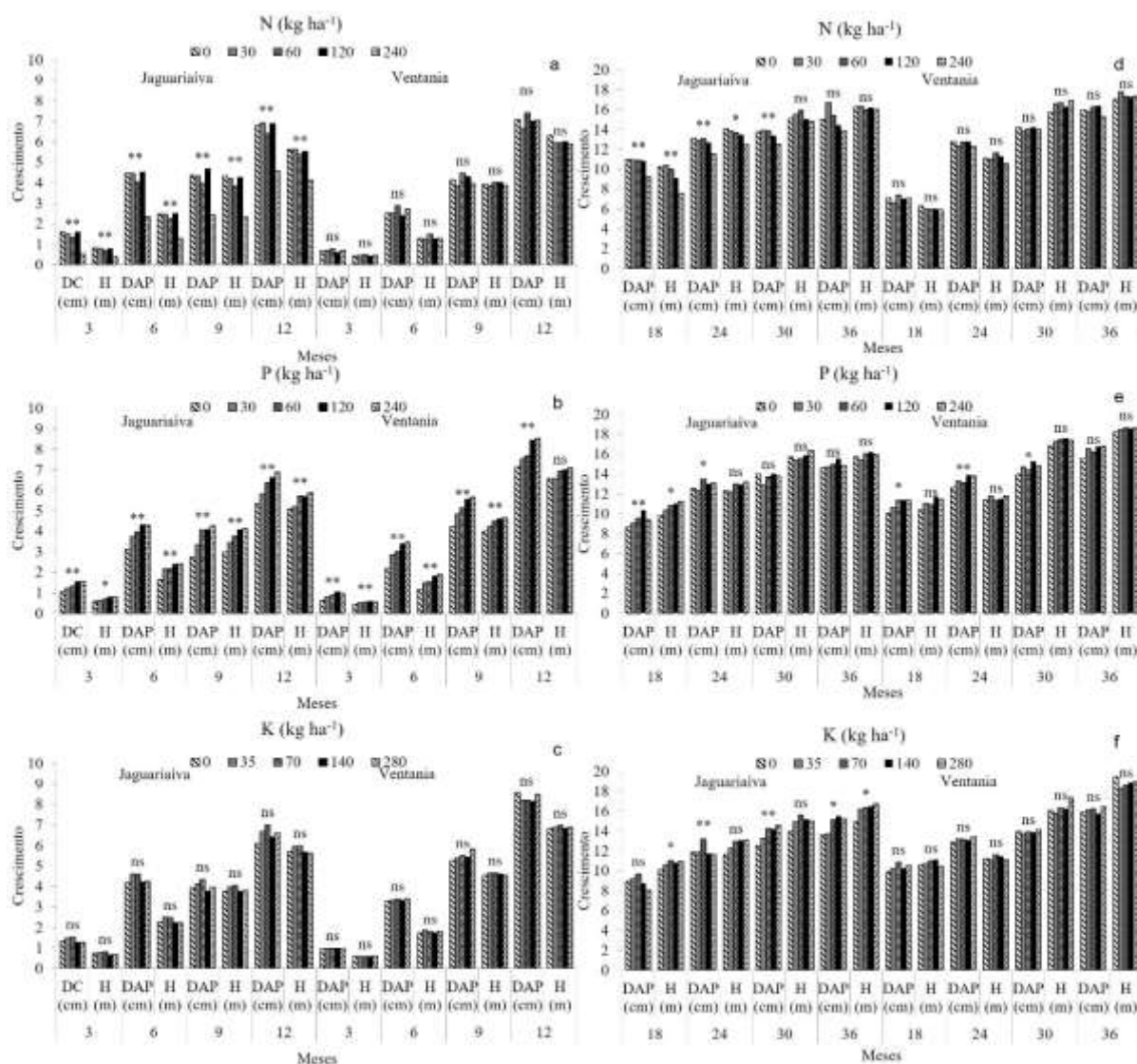
TABELA 2 – Média dos valores de diâmetro a altura do peito (DAP), altura (H), volume total individual e por hectare (V) e incremento médio anual (IMA) de *Eucalyptus urograndis* aos 36 meses nos experimentos com doses de N, P e K para os sítios de Jaguariaíva e Ventania, PR, Brasil.

Experimento	Sítio	DAP (cm)	H (m)	V(m ³)	V (m ³ há ⁻¹)	IMA (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)
N	Jaguariaíva	15,1	16,2	0,13	138	46,0
	Desvio Padrão (s)	1,07	0,15	0,02	18,2	6,07
	Ventania	15,9	17,3	0,16	169	56,3
	Desvio Padrão (s)	0,44	0,27	0,00	3,96	1,32
P	Jaguariaíva	14,9	15,9	0,13	143	47,8
	Desvio Padrão (s)	0,38	0,31	0,01	8,09	2,70
	Ventania	16,4	18,5	0,18	189	63,1
	Desvio Padrão (s)	0,51	0,18	0,01	8,62	2,87
K	Jaguariaíva	14,6	16,1	0,13	141	47,2
	Desvio Padrão (s)	0,92	0,72	0,02	18,68	6,23
	Ventania	16,1	18,8	0,18	189	63,1
	Desvio Padrão (s)	0,28	0,43	0,01	5,18	1,73

FONTE: O Autor (2018).

Na figura 2a são apresentados os resultados de crescimento das árvores, em função da aplicação do N, indicam baixos valores na maior dose aplicada para todos os parâmetros nas primeiras análises no sítio de Jaguariaíva. Tal fato foi resultante da morte de 100% das mudas, devido a toxidez por amônio, fazendo-se necessário realizar replantio, assim esse tratamento ficou 30 dias atrasado em relação aos demais. A morte não era esperada visto que a dose de N foi parcelada e aplicada na distância utilizada em plantios comerciais. Estas diferenças proporcionadas pelo replantio foram diminuindo ao longo do tempo, igualando as demais doses aos 30 meses em altura e 36 meses em DAP (FIGURA 2 a).

FIGURA 2 – Crescimento absoluto de *Eucalyptus urograndis* em função da dose de N (a;d) e P_2O_5 (b;e) (0, 30, 60, 120 e 240 kg ha⁻¹) e K_2O (c;f) (0,35, 70, 140 e 280 kg ha⁻¹) em diâmetro do colo (DC); diâmetro altura do peito (DAP) e altura (H) em Jaguariaíva e Ventania, PR, Brasil. *significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade; ns não significativo.



FONTE: O autor (2018).

O crescimento em função da aplicação de P ocorreu até 24 e 30 meses para a variável diâmetro em Jaguariaíva e Ventania, respectivamente (FIGURA 2 e) e (TABELA 3). E em relação altura o efeito do P ocorreu até 18º e 9º mês em Jaguariaíva e Ventania, respectivamente (FIGURA 2 b, e) e (TABELA 3). O tratamento com omissão de P foi o de menor crescimento em diâmetro e altura, comprometendo o arranque inicial das árvores em ambos locais. Pode-se observar no campo que nos primeiros 6 meses o tratamento com 0 kg ha⁻¹ de P_2O_5 estava com o mesmo porte

das árvores de bordadura, as quais não sofreram nenhum tipo de adubação (observação visual).

As repostas ao P foram maiores no início do crescimento e se ajustaram ao modelo hiperbólico com incrementos decrescentes, com doses de máxima eficiência técnica (DMET) de 133 kg a 237 e 132 a 204 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no sítio Jaguariaíva e Ventania, respectivamente, nos diferentes períodos analisados. Com ganhos que chegaram a 56 % (FIGURA 2 b, e) em relação a testemunha aos 9 meses para o DAP (TABELA 3).

TABELA 3 - Dose de máxima eficiência (DMET) e máximo crescimento de *Eucalyptus urograndis* em diâmetro do colo (DC), diâmetro altura do peito (DAP), altura (H) e volume com a fertilização de N, P e K em Jaguariaíva e Ventania, Paraná, Brasil.

Experimento	Período (meses)	Variável	Sítio	Equação	r ²	ρ	DMET (kg ha ⁻¹)	Crescimento máximo
N	3	H (m)	Jaguariaíva	$y = -9.10^{-06}x^2 + 0.0006.x + 0.7799$	0.76	<0.001	33.3	0.8
			Ventania	$\bar{y} = 0.44$	-	-	-	-
		DC (cm)	Jaguariaíva	$y = -3.10^{-05}x^2 + 0.0023.x + 1.4929$	0.72	<0.001	38.3	1.5
			Ventania	$\bar{y} = 0.68$	-	-	-	-
	6	H (m)	Jaguariaíva	$y = -3.10^{-05}x^2 + 0.0034.x + 2.3861$	0.79	<0.001	56.7	2.3
			Ventania	$\bar{y} = 1.31$	-	-	-	-
		DAP (cm)	Jaguariaíva	$y = -6.10^{-05}x^2 + 0.006.x + 4.3088$	0.81	<0.001	50.0	4.5
			Ventania	$\bar{y} = 2.60$	-	-	-	-
	9	H (m)	Jaguariaíva	$y = -5.10^{-05}x^2 + 0.0039.x + 4.1681$	0.80	<0.001	39.0	4.2
			Ventania	$\bar{y} = 3.94$	-	-	-	-
		DAP (cm)	Jaguariaíva	$y = -7.10^{-05}x^2 + 0.0091.x + 4.1549$	0.71	<0.001	65.0	4.5
			Ventania	$\bar{y} = 4.14$	-	-	-	-
	12	H (m)	Jaguariaíva	$y = -4.10^{-05}x^2 + 0.0028.x + 5.5612$	0.81	<0.001	28.0	5.6
			Ventania	$\bar{y} = 6.02$	-	-	-	-
		DAP (cm)	Jaguariaíva	$y = -6.10^{-05}x^2 + 0.0069.x + 6.6854$	0.74	<0.001	57.5	6.9
			Ventania	$\bar{y} = 7.03$	-	-	-	-
	18	H (m)	Jaguariaíva	$y = -2.10^{-05}x^2 - 0.007.x + 10.41$	0.51	0.01	70.0	10.8
			Ventania	$\bar{y} = 9.84$	-	-	-	-
		DAP (cm)	Jaguariaíva	$y = -5.10^{-05}x^2 + 0.004.x + 10.89$	0.70	<0.001	40.0	11.0
			Ventania	$\bar{y} = 10.2$	-	-	-	-
	24	H (m)	Jaguariaíva	$y = -1.10^{-05}x^2 - 0.0034.x + 13.975$	0.40	0.03	170.0	14.3
			Ventania	$\bar{y} = 11.1$	-	-	-	-
		DAP (cm)	Jaguariaíva	$y = -3.10^{-05}x^2 + 0.0002.x + 13.034$	0.58	<0.001	3.3	13.0
			Ventania	$\bar{y} = 12.6$	-	-	-	-
	30	H (m)	Jaguariaíva	$\bar{y} = 15.3$	-	-	-	-
			Ventania	$\bar{y} = 16.4$	-	-	-	-
		DAP (cm)	Jaguariaíva	$y = -3.10^{-05}x^2 + 0.0005.x + 13.807$	0.47	0.01	8.3	13.8
			Ventania	$\bar{y} = 14.1$	-	-	-	-
	36	V (m ³ ha ⁻¹)	Jaguariaíva	$\bar{y} = 111$	-	-	-	-
			Ventania	$\bar{y} = 129$	-	-	-	-
		H (m)	Jaguariaíva	$\bar{y} = 16.2$	-	-	-	-
			Ventania	$\bar{y} = 17.35$	-	-	-	-
P	3	DAP (cm)	Jaguariaíva	$\bar{y} = 15.1$	-	-	-	-
			Ventania	$\bar{y} = 15.9$	-	-	-	-
		V (m ³ ha ⁻¹)	Jaguariaíva	$\bar{y} = 138$	-	-	-	-
			Ventania	$\bar{y} = 176$	-	-	-	-
	6	H (m)	Jaguariaíva	$y = -8.10^{-06}x^2 + 0.0028.x + 0.552$	0.455	0.02	175.0	0.8
			Ventania	$y = -6.10^{-06}x^2 + 0.0019.x + 0.4314$	0.84	<0.001	158.3	0.7
		CD (cm)	Jaguariaíva	$y = -2.10^{-05}x^2 + 0.006.x + 1.0263$	0.51	0.01	150.0	1.5
			Ventania	$y = -2.10^{-05}x^2 + 0.0053.x + 0.6277$	0.84	<0.001	132.5	1.0
	9	H (m)	Jaguariaíva	$y = -2.10^{-05}x^2 + 0.0087.x + 1.7508$	0.48	0.01	217.5	2.7
			Ventania	$y = -2.10^{-05}x^2 + 0.0071.x + 1.218$	0.92	<0.001	177.5	1.8
		DAP (cm)	Jaguariaíva	$y = -4.10^{-05}x^2 + 0.0152.x + 3.2031$	0.57	<0.001	190.0	4.6
			Ventania	$y = -4.10^{-05}x^2 + 0.0143.x + 2.2933$	0.88	<0.001	178.8	3.6
	9	H (m)	Jaguariaíva	$y = -4.10^{-05}x^2 + 0.0135.x + 3.0335$	0.67	<0.001	168.8	4.2

Experimento	Período (meses)	Variável	Sítio	Equação	r ²	ρ	DMET (kg ha ⁻¹)	Crescimento máximo
K	12	DAP (cm)	Ventania	$y = -2.10^{-05}x^2 + 0.0081.x + 4.0228$	0.59	<0.001	202.5	4.8
			Jaguaruaiva	$y = -5.10^{-05}x^2 + 0.0186.x + 2.8467$	0.59	<0.001	186.0	4.6
		H (m)	Ventania	$y = -4.10^{-05}x^2 + 0.0163.x + 4.2913$	0.85	<0.001	203.8	6.0
			Jaguaruaiva	$y = -2.10^{-05}x^2 + 0.0086.x + 5.0854$	0.39	0.03	215.0	6.0
		DAP (cm)	Ventania	$\bar{y} = 6.84$	-	-	-	-
			Jaguaruaiva	$y = -4.10^{-05}x^2 + 0.0159.x + 5.4085$	0.63	<0.001	198.8	7.0
		H (m)	Ventania	$y = -4.10^{-05}x^2 + 0.0145.x + 7.1014$	0.80	<0.001	181.3	5.7
			Jaguaruaiva	$y = -9.10^{-05}x^2 + 0.024.x + 8.517$	0.42	0.02	133.3	7.2
		DAP (cm)	Ventania	$\bar{y} = 11.1$	-	-	-	-
			Jaguaruaiva	$y = -4.10^{-05}x^2 + 0.016.x + 9.851$	0.59	<0.001	200.0	11.5
		H (m)	Ventania	$y = -6.10^{-05}x^2 + 0.0193.x + 10.119$	0.45	0.02	160.8	11.7
			Jaguaruaiva	$\bar{y} = 12.4$	-	-	-	-
		DAP (cm)	Ventania	$\bar{y} = 11.6$	-	-	-	-
			Jaguaruaiva	$y = -2.10^{-05}x^2 + 0.0095.x + 12.237$	0.36	0.04	237.5	13.4
		H (m)	Ventania	$y = -4.10^{-05}x^2 + 0.014.x + 12.687$	0.63	<0.001	175.0	13.9
			Jaguaruaiva	$\bar{y} = 15.8$	-	-	-	-
		DAP (cm)	Ventania	$\bar{y} = 17.35$	-	-	-	-
			Jaguaruaiva	$\bar{y} = 13.7$	-	-	-	-
		V (m ³ ha ⁻¹)	Ventania	$y = -5.10^{-05}x^2 + 0.0154.x + 14.002$	0.45	0.02	154.0	15.2
			Jaguaruaiva	$\bar{y} = 119$	-	-	-	-
	36	H (m)	Ventania	$\bar{y} = 147$	-	-	-	-
			Jaguaruaiva	$\bar{y} = 15.9$	-	-	-	-
		DAP (cm)	Ventania	$\bar{y} = 18.5$	-	-	-	-
			Jaguaruaiva	$\bar{y} = 14.9$	-	-	-	-
		V (m ³ ha ⁻¹)	Ventania	$\bar{y} = 16.4$	-	-	-	-
			Jaguaruaiva	$\bar{y} = 144$	-	-	-	-
		H (m)	Ventania	$\bar{y} = 197$	-	-	-	-
			Jaguaruaiva	$\bar{y} = 0.72$	-	-	-	-
		CD (cm)	Ventania	$\bar{y} = 0.58$	-	-	-	-
			Jaguaruaiva	$\bar{y} = 1.36$	-	-	-	-
		H (m)	Ventania	$\bar{y} = 0.97$	-	-	-	-
			Jaguaruaiva	$\bar{y} = 2.34$	-	-	-	-
	9	DAP (cm)	Ventania	$\bar{y} = 1.78$	-	-	-	-
			Jaguaruaiva	$\bar{y} = 4.37$	-	-	-	-
		H (m)	Ventania	$\bar{y} = 3.34$	-	-	-	-
			Jaguaruaiva	$\bar{y} = 3.87$	-	-	-	-
		DAP (cm)	Ventania	$\bar{y} = 4.59$	-	-	-	-
			Jaguaruaiva	$\bar{y} = 4.01$	-	-	-	-
	12	H (m)	Ventania	$\bar{y} = 5.48$	-	-	-	-
			Jaguaruaiva	$\bar{y} = 5.79$	-	-	-	-
		DAP (cm)	Ventania	$\bar{y} = 6.98$	-	-	-	-
			Jaguaruaiva	$\bar{y} = 8.33$	-	-	-	-
		H (m)	Ventania	$\bar{y} = 6.56$	-	-	-	-
			Jaguaruaiva	$y = -3.10^{-05}x^2 + 0.0041.x + 9.095$	0.36	0.04	68.3	9.2
	18	DAP (cm)	Ventania	$\bar{y} = 10.8$	-	-	-	-
			Jaguaruaiva	$\bar{y} = 8.92$	-	-	-	-
		H (m)	Ventania	$\bar{y} = 10.3$	-	-	-	-
			Jaguaruaiva	$\bar{y} = 12.6$	-	-	-	-
		DAP (cm)	Ventania	$\bar{y} = 11.3$	-	-	-	-
			Jaguaruaiva	$y = -4.10^{-05}x^2 + 0.0174.x + 11.713$	0.57	<0.001	217.5	13.6
	24	H (m)	Ventania	$\bar{y} = 13.2$	-	-	-	-
			Jaguaruaiva	$\bar{y} = 14.6$	-	-	-	-
		DAP (cm)	Ventania	$\bar{y} = 16.3$	-	-	-	-
			Jaguaruaiva	$y = -5.10^{-05}x^2 + 0.0196.x + 12.669$	0.526	0.01	196.0	14.6
		V (m ³ ha ⁻¹)	Ventania	$\bar{y} = 13.9$	-	-	-	-
			Jaguaruaiva	$\bar{y} = 114$	-	-	-	-
	30	H (m)	Ventania	$\bar{y} = 126$	-	-	-	-
			Jaguaruaiva	$y = -4.10^{-05}x^2 + 0.0164.x + 15.254$	0.56	<0.001	205.0	16.9
		DAP (cm)	Ventania	$\bar{y} = 18.8$	-	-	-	-
			Jaguaruaiva	$y = -0.0001x^2 + 0.0341.x + 13.265$	0.41	0.03	170.5	19.1
		V (m ³ ha ⁻¹)	Ventania	$\bar{y} = 16.1$	-	-	-	-
			Jaguaruaiva	$y = -0.0013x^2 + 0.4948.x + 116.05$	0.51	0.01	190.3	163.1
	36	H (m)	Ventania	$\bar{y} = 197$	-	-	-	-
			Jaguaruaiva	$\bar{y} = 197$	-	-	-	-

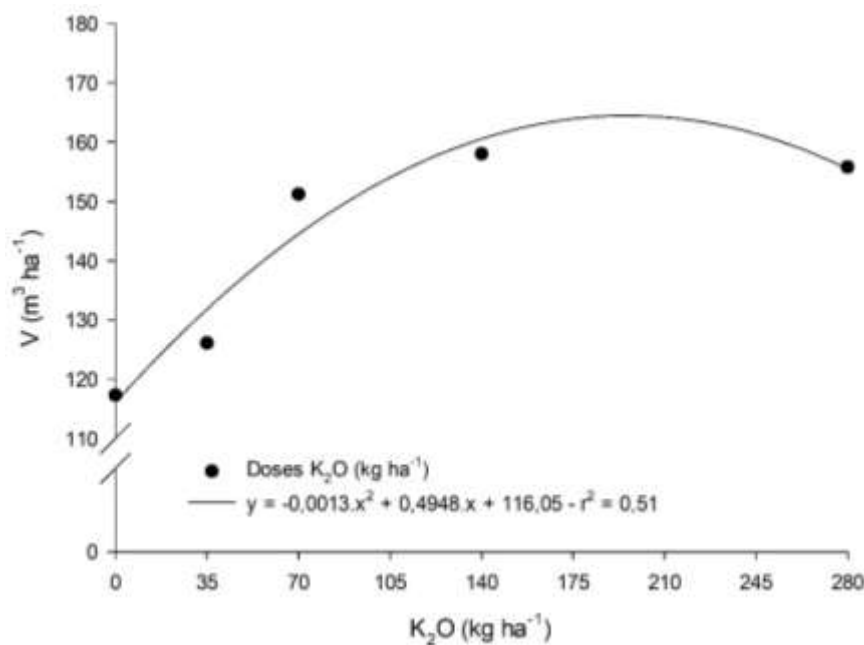
FONTE: O Autor (2018).

y: Variável dependente (DC, DAP, H e V); x: variável independente (fertilizante kg ha⁻¹); r²: coeficiente de determinação; p: valor p.

Diferente do P, o efeito do potássio foi diretamente proporcional a idade da planta. As diferenças em altura ocorreram após 18 meses, sendo que aos 36 meses houve respostas para quase todas as variáveis analisadas para o sítio Jaguariaíva (TABELA 3). O solo apresentava valores muito baixos de K disponível e alto grau de intemperismo, limitando a presença de mineral primário de K. Essa carência foi observada na planta através dos sintomas de deficiência do mesmo, assim esperava-se resposta na primeira fase de crescimento.

O efeito do potássio para o sítio Jaguariaíva veio se manifestar a partir do 18º mês, com DMET de 68,3 kg ha⁻¹ de K₂O, e aumentando para níveis próximo a 200 kg ha⁻¹ de K₂O aos 36 meses, com ganho relativo de 45 % (163 m³ ha⁻¹) em relação a testemunha (TABELA 3) e (FIGURA 3).

FIGURA 3 – Curva de resposta de *Eucalyptus urograndis* em função da dose de K₂O (0, 35, 70, 140 e 280 kg ha⁻¹) em volume total (V) em Jaguariaíva, PR, Brasil.



FONTE: O Autor (2018).

2.6 DISCUSSÃO

O incremento médio anual (IMA) em volume foi de 46,0 a 63,1 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ aos três anos. Esse resultado ainda precoce, pode indicar que alta produtividade comparado com a média nacional de 40 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ para diferentes espécies de

eucalipto (IBÁ, 2016), e quando comparados com outros ensaios de fertilização são compatíveis com sítios de bom desempenho, onde os incrementos variam de 41,5 a 54 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (Santana et al., 2008; Pulito et al., 2015; Melo et al., 2016).

O melhor crescimento das árvores na região de Ventania pode estar relacionado com as pequenas diferenças climáticas e edáficas que esse sítio apresenta. Em relação ao clima, tem-se, temperatura e precipitação favoráveis, e o solo com material de origem mais rico que Jaguariaíva. A explicação segundo Santana et al. (2008) e Stape et al. (2010) pode ser que o eucalipto tenha aproveitado melhor os recursos e respondido com melhor crescimento.

A aplicação de N não resultou em aumento do crescimento no sítio de Ventania no período avaliado, apesar do elevado rendimento obtido no presente estudo. A resposta de N na cultura do eucalipto tem variado desde ausência (Gama-Rodrigues et al., 2005; Barreto et al., 2010; Pulito et al., 2015) a respostas positivas (Jesus et al., 2012; Forrester et al., 2013; Ros et al., 2016;) apesar da elevada exigência da cultura.

A quantidade de nutrientes na planta entre 130 a 330 kg ha⁻¹ foi obtido por Santana et al. 2008, em diferentes condições de clima, solo e espécies de eucalipto no Brasil com idade entre 4,5 a 8,5 anos. A necessidade de N concentra-se nos primeiros anos, sendo reportado valores de 100 kg ha⁻¹ nos dois primeiros anos do *Eucalyptus nitens* (Smethurst et al., 2004) e de 89 kg ha⁻¹ para *Eucalyptus urograndis* (Barreto et al., 2012), o que reforça a necessidade de bom suprimento nos primeiros anos. Logo, a ausência de resposta ao N para planta de alta necessidade remete a uma grande disponibilização de N pelos solos utilizados ou resíduo da cultura anterior.

Os solos utilizados no presente estudo apresentavam grande quantidade de matéria orgânica, com C orgânico total de 23,6 e 21,0 g dm⁻³, em Jaguariaíva e Ventania, respectivamente (TABELA 1), sugerindo um alto potencial de disponibilização de nitrogênio. A aplicação de calcário em superfície e uso de subsolador pela diminuição da acidez e aumento da aeração do solo, podem ter aumentado a atividade microbiana e consequente liberação de N da matéria orgânica do solo. O alto índice pluviométrico no período do estudo pode também ter auxiliado na manutenção de elevada atividade microbiológica e mineralização da matéria orgânica do solo. Confirma-se, assim, a importância da mineralização da matéria orgânica do solo na disponibilização do N (Gonçalves et al., 2004; Gama-Rodrigues et al., 2005; Barreto et al., 2012, Pulito et al., 2015).

Conforme apresentado anteriormente a resposta gerada pelo N no sítio de Jaguariaíva foi devido a mortalidade das plantas no primeiro mês de plantio. Mas o efeito da adubação, expresso pela dose de máxima eficiência técnica, demonstrou que o eucalipto tende a aumentar a sua exigência ao N nos primeiros 24 meses, período que tem a maior produção de biomassa. Os trabalhos de Melo et al. (2016), Laclau et al. (2010) e Santana et al. (2008) confirmam esta afirmativa, e acrescentam que a partir do terceiro ano o ciclo biogeoquímico se intensifica e respostas à aplicação de N não são esperadas. Por outro lado, pensando nos ciclos posteriores e na exportação do nutriente, respostas a aplicação de N tem sido encontrado em solos arenosos e com eucaliptos de alto crescimento (Pulito et al., 2015).

A elevada resposta ao uso de P era esperada dada à baixa disponibilidade deste nutriente, observada nas análises químicas ao longo de todo o perfil dos solos (TABELA 1). Somado à esta característica, os Latossolos utilizados certamente apresentam elevada capacidade de sorção do P, mesmo tendo 23 % de argila, estes apresentam elevado grau de intemperismo e acidez ($m\% > 80\%$). Logo, os resultados obtidos confirmam a necessidade de adubação com P no momento do plantio (Gonçalves et al., 2004; Maeda & Bognola, 2011, Maeda & Bognola, 2012; Stahl et al., 2013; Dias et al., 2014), evidenciando a importância do nutriente na fase inicial de crescimento do *Eucalyptus urograndis*, reforçado pelo maior percentual de incremento do crescimento nos primeiros meses pós plantio (FIGURA 2 b, e).

Vale destacar que o tratamento 0 kg ha^{-1} de P_2O_5 significa ausência de fósforo solúvel (super triplo), porém foram aplicados 200 kg ha^{-1} de fosfato natural reativo (29 % de P_2O_5 total), o qual não foi suficiente para suprir a necessidade inicial do eucalipto. Respostas semelhantes foram obtidas para o *Eucalyptus dunnii*, onde a substituição parcial do fosfato solúvel pelo fosfato natural não foi suficiente no primeiro ano após o plantio (Dias et al., 2014). O fosfato natural reativo apresenta aumento da eficiência no decorrer do tempo, tanto pelo aumento da solubilização, como por sua origem ígneas ou sedimentares (Caione et al., 2013), mesmo em condições ácidas deste estudo.

Relação inversa entre idade e resposta ao uso de P vem sendo reportado para plantio de eucalipto (Xu et al., 2005; Melo et al., 2016). Os autores indicam um maior volume de solo explorado e menor demanda de fósforo depois dos estágios iniciais como possíveis causas. No presente trabalho, pode estar associado ao aumento do

crescimento radicular em profundidade, atingindo parte do P do fosfato natural reativo. Forte indicativo foi o sítio Ventania ter atingido a maior exigência aos 9 meses para variável H, enquanto Jaguariaíva foi apenas aos 24 meses para o DAP (TABELA 3). Provavelmente pelo maior crescimento das árvores em Ventania explorando o solo e acessando o P do FNR mais rapidamente.

Levando em consideração os níveis de P do solo e o alto teor de Al, mesmo com teor de argila baixo, a quantidade de P_2O_5 aplicado está coerente para o ambiente estudado, somando os 58 kg ha^{-1} de P_2O_5 do fosfato natural reativo. Em solos com níveis baixos de fósforo e teores de argila entre 16 a 32 % as quantidades acumuladas nas plantas foi de 322, 301, 208, 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 conforme Fernandez et al. (2000), Dias et al. (2014), Xu et al. (2002) e Xu et al. (2005), respectivamente. Dessa maneira, a quantidade de P aplicado pode ser dividida entre uma fonte solúvel para garantir o alto crescimento inicial e outra fonte proveniente do fosfato de rocha, com o objetivo de reduzir o custo desse fertilizante, na quantidade de 30 kg ha^{-1} de P_2O_5 de fonte solúvel e 170 kg ha^{-1} de P_2O_5 de FNR.

A resposta ao uso de K é dependente da condição da disponibilidade de água, sendo observada maior resposta inicial ao K quando ocorre déficit hídrico (Faria et al., 2002; Silva, et al, 2012; Sampaio et al., 2016; Biagiotti et al., 2017). Condição diferente aos dois sítios em que este trabalho foi realizado, sendo que no mês com menor precipitação pluvial, agosto de 2014, a quantidade foi de aproximadamente 61 e 26 mm nas regiões de Jaguariaíva e Ventania, respectivamente (FIGURA 1), quantidade suficiente para o período de pouca atividade metabólica. Esse efeito é interessante, mesmo sob deficiência a planta cresceu normalmente, isso pode estar ligado à função que o potássio exerce no controle estomático (regulação hídrica) (Hawkesford et al., 2012), na qual não foi necessária durante o período inicial.

Por outro lado, ocorre o aumento da exigência de K à medida que aumenta a idade do reflorestamento (Almeida et al., 2010; Battie-Laclau et al., 2014). E esse K requerido vem por retranslocação interna, na taxa entre 40 a 75 % (Laclau et al., 2010). Assim explica-se o início da resposta a aplicação do K após 24 meses. Como o solo e a planta se encontram em níveis baixos de K, a planta não conseguiu manter o seu crescimento.

Porém, alguns trabalhos encontraram situação contrária, diminuição da resposta ao longo do tempo, mas o tratamento testemunha sempre permanece

significativamente diferente (Silva et al., 2012; Biagiotti et al., 2017). O que corrobora com as afirmações das funções do K no potencial osmótico, exigência inicial e a retranslocação interna do K, ou seja, o eucalipto precisa absorver a maior parte do K nos primeiros 12 meses, para depois fazer sua própria ciclagem.

Sampaio et al. (2016) trabalhando com diferentes clones de eucalipto para selecionar o mais adaptado ao déficit hídrico e ajustar a curva de resposta a adubação, encontraram DMET de 66, 185 e 75 kg ha⁻¹ de K₂O para DAP, H e volume, respectivamente, aos 24 meses para o mesmo clone estudado no presente trabalho, quantidade semelhante aos resultados observados nesse trabalho entre 85 a 200 kg ha⁻¹ de K₂O.

Embora a maioria dos trabalhos sejam conduzidos para avaliar o efeito do K na resistência do eucalipto ao estresse hídrico, esse elemento também pode ser limitante em ambientes que não apresenta restrição hídrica, mas estão em solos com níveis abaixo de 0,1 cmol_c dm⁻³ suscetível à lixiviação e com a baixa taxa de adsorção deste nutriente. Dessa forma estudos para condições de baixa fertilidade e solos arenosos vem sendo feitos (Silva et al., 2012 e Biagiotti et al., 2017). Silva et al. (2012) sugerem a aplicação única de K aos três meses do plantio em solos arenosos. Porém deve-se ter a certeza que a planta esteja absorvendo o K na quantidade necessária, pois os efeitos da deficiência podem aparecer tardiamente, o que levaria a perda de produção. Assim o acompanhamento nutricional do reflorestamento nos primeiros 12 meses é fundamental para se for necessário poder intervir com adubação de manutenção.

2.7 CONCLUSÕES

O crescimento do clone híbrido *Eucalyptus urograndis* indicou um elevado potencial de desenvolvimento na região do Paraná. Dentro de condição de elevada precipitação, solo com elevado teor de matéria orgânica e presença de serapilheira foi disponibilizada quantidade de N para manter uma alta taxa de crescimento do eucalipto. Os resultados têm acompanhado a informações de outros estudos de N que indicam ausência da adubação com N no estado de São Paulo.

O efeito do fosfato solúvel foi confirmado na fase inicial de crescimento e diminui com o tempo, não mais influenciando o crescimento após 2 anos do plantio, em ambas as áreas. A dose que proporcionou maior crescimento inicial foi de

aproximadamente ~ 130 kg de P_2O_5 nos três primeiros meses. O decréscimo pode ser explicado pela lenta disponibilização de fosfato natural reativo e maior exploração de volume de solo. Deste modo seria recomendada a adição de doses baixas com $30 \text{ kg ha}^{-1} P_2O_5$ no plantio de fonte solúvel para garantir o crescimento inicial, mesmo que abaixo da dose que garanta o máximo crescimento. O uso de fosfato natural no sulco de subsolagem pode garantir o crescimento a partir dos dois anos, com custo menor.

A resposta à adubação potássica ocorreu após 18 meses para a variável altura para o sítio Jaguariaíva com dose de máxima eficiência técnica de 68 kg ha^{-1} de K_2O . Aos 36 meses todas as variáveis foram influenciadas pelo K com dose de máxima eficiência técnica de 190 kg ha^{-1} de K_2O para um volume de $163,1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Visto que ambos os solos apresentavam muito baixos níveis de K ao longo do perfil, é provável que formas estruturais possam estar sendo utilizadas. Tal fato indica que em solo com baixa reserva de K, a adubação parcelada de K seja uma alternativa eficiente para a região.

Em geral, os resultados mostraram que o crescimento de *Eucalyptus urograndis* foi influenciado pela fertilização de P e K, mas não pela adubação nitrogenada nas condições estudadas no estado do Paraná. Os resultados foram obtidos em anos com padrões elevados de precipitação, e avaliações de longo prazo podem ser necessárias para capturar os efeitos de diferentes níveis de precipitação.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. C. R.; LACLAU, J. P.; GONCALVES, J. L. D.; RANGER, J.; SAINT-ANDRE, L. A positive growth response to NaCl applications in *Eucalyptus* plantations established on K-deficient soils. *Forest Ecology and Management*, 259:1786–1795, 2010.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22:711-728, 2013.
- BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMARODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F.; ALVES, B. J. R.; FONSECA, S. Mineralização de nitrogênio e carbono em solos sob plantações de eucalipto, em uma sequência de idades. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:735- 745, 2010.
- BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F. Nitrogen balance in soil under eucalyptus plantations. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36:1239-1248, 2012.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil. In: ATTIWILL, P.M; ADAMS, M.A., eds. Nutrition of eucalypts. Collingwood, CISRO, 1996, p.335-356.

BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. Fertilidade de solos, nutrientes e produção florestal. Revista Visão Agrícola, 4:76-79, 2005.

BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. Nutrição e adubação mineral do eucalipto. In: VALE, A. B.; MACHADO, C. C.; PIRES, J. M. M.; VILAR, M. B.; COSTA, C. B.; NACIF, A. P. (eds.). Eucaliptocultura no Brasil: silvicultura, manejo e ambiência. Viçosa - MG: Sociedade de Investigações Florestais - SIF. p. 187-208, 2014.

BATTIE-LACLAU, P.; LACLAU, J. P.; DOMEQ, J.C.; CHRISTINA, M.; BOUILLET, J. P.; DE CASSIA PICCOLO, M.; GONÇALVES, J. L. DE M.; MOREIRA, R. M.; KRUSCHE, A. V.; NOUVELLON, Y. Effects of potassium and sodium supply on drought-adaptive mechanisms in *Eucalyptus grandis* plantations: implications under a drier future climate. New Phytol. 203:401 - 413, 2014.

BIAGIOTTI, G.; VALERI, S. V.; CRUZ, M. C. P.; VASCONCELOS, R. T. Fertilização potássica na implantação de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Jonhson. Scientia Forestalis, 45:129-137, 2017.

BIZON J. M. C. Avaliação da sustentabilidade nutricional de plantios de *Pinus taeda* L. usando um balanço de entrada e saída de nutrientes. 2005. (Dissertação de mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. ESALQ/USP Piracicaba, 96f.

CAIONE, G.; FERNANDES, F. M.; LANGE, A. Efeito residual de fontes de fósforo nos atributos químicos do solo, nutrição e produtividade de biomassa da cana-de-açúcar. Agrária, 8:189-196, 2013.

DIAS, L. P. R.; GATIBONI, L. C.; ERNANI, P. R.; MIQUELLUTI, D. J.; CHAVES, D. M.; BRUNETTO, G. Substituição parcial de fosfato solúvel por natural na implantação de *Eucalyptus benthamii* e *Eucalyptus dunnii* no Planalto Sul catarinense. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 38:516-523, 2014.

DIAS, L. P. R; GATIBONI, L. C; BRUNETTO, G; SIMONETE, M. A; BICARATTO, B. Eficiência relativa de fosfatos naturais na adubação de plantio de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden e *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage em solo sem e com calagem. Ciência Florestal, 25:37-48, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2. ed. Brasília: Informação Tecnológica, 2009. 628 p.

FARIA, G. E.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F; LIMA, J. C.; TEIXEIRA, J. L. Produção e estado nutricional de povoamentos de *Eucalyptus grandis*, em segunda rotação, em resposta à adubação potássica. Revista Árvore, 26:577-584, 2002.

FERNANDEZ, J. Q. P.; DIAS, L. E.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; MORAES, E. J. Productivity of *Eucalyptus camaldulensis* affected by rate and placement of two phosphorus fertilizers to a Brazilian oxisol. *Forest Ecology and Management*, 127:93–102, 2000.

FIGUEIREDO-FILHO, A.; MACHADO, S. A.; MIRANDA, R. O. V.; RETSLAFF, F. Compêndio de equações de volume e de afilamento de espécies florestais plantadas e nativas para as regiões geográficas do Brasil. Editora UFV. 2014. 306 p.

FORRESTER, D. I.; COLLOPY, J. J.; BEADLE, C. L.; BAKER, T. G. Effect of thinning, pruning and nitrogen fertiliser application on light interception and light-use efficiency in a young *Eucalyptus nitens* plantation. *Forest Ecology and Management*, 288:21-30, 2013.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; SANTOS, G. A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:893-901, 2005.

GAVA, J. L. Efeito da adubação potássica em plantios de *E. grandis* conduzidos em segunda rotação em solos com diferentes teores de potássio trocável. *Série Técnica IPEF*, Piracicaba, 11:89-94, 1997.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; LACLAU, J. P.; SMETHURST, P.; GAVA, J. L. Silvicultural effects on the productivity and wood quality of eucalypt plantations. *Forest Ecology and Management*, 193:45-61, 2004.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MOLLER, I.S. & WHITE, P. Functions of macronutrients. In: MARSCHNER, P., ed. *Mineral nutrition of higher plants*, 3.ed. New York, Elsevier, 2012, p. 135-189.

INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). Relatório indústria brasileira de árvores. 2016. 100 p.

JESUS, G. L.; BARROS, N. F.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; HENRIQUES, E. P.; LIMA, V. C.; FERNANDES, L. V. S.; EMANUELLE, M. B. Doses e fontes de nitrogênio na produtividade do eucalipto e nas frações da matéria orgânica em solo da região do cerrado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36:201-214, 2012.

LACLAU, J. P.; RANGER, J.; GONCALVES, J. L. D.; MAQUERE, V.; KRUSCHE, A. V.; M'BOU, A. T.; NOUVELLON, Y.; SAINT-ANDRE, L.; BOUILLET, J. P.; PICCOLO, M. D.; et al. Biogeochemical cycles of nutrients in tropical *Eucalyptus* plantations main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. *Forest Ecology and Management*, 259:1771–1785, 2010.

MAEDA, S.; BOGNOLA, I. A. Efeito da calagem, do fosfato natural de Gafsa e superfosfato triplo no crescimento inicial e na absorção de fósforo em *Eucalyptus dunnii*. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 31:355-361, 2011.

MAEDA, S.; BOGNOLA, I. A. Influência de calagem e adubação fosfatada no crescimento inicial de eucalipto e nos níveis críticos de P. Pesquisa Florestal Brasileira, 32:401-407, 2012.

MELO, E. A. S. C.; GONÇALVES, J. L. M.; ROCHA, J. H. T.; HAKAMADA, R. E.; BAZANI, J. H.; W. A. V. A.; ARTHUR JUNIOR, J. C.; BORGES, J. S.; MALHEIROS, R.; LEMOS, C. C. Z.; FERREIRA, E. V. O.; FERRAZ, A. V. Responses of Clonal Eucalypt Plantations to N, P and K Fertilizer Application in Different Edaphoclimatic Conditions. Forests, 7:1-10, 2016.

MEYER, H. A. Forest mensuration. State College PA. Pennsylvania, Penns Valley Publisher Inc. 1953. 357 p.

MOTTA, A. C. V.; BARBOSA, J. Z.; CONSALTER, R.; REISSMANN, C. B. Nutrição e adubação da cultura do pinus. In: Renato de Mello Prado. (Org.). Nutrição e adubação de espécies florestais e palmeiras. 1ed. Jaboticabal: Gráfica e Editora Santa Terezinha, 2014, 1:383-425.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (eds.) Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 471-537.

PULITO, A.; GONÇALVES, J. H. T.; SMETHURST, P.; ARTHUR JR., J.; ALVARES, C. A.; ROCHA, J. H. T.; HÜBNER, A.; MORAES, L. F.; MIRANDA, A.; KAMOGAWA, M.; GAVA, J. L.; CHAVES, R.; SILVA, C. Available Nitrogen and Responses to Nitrogen Fertilizer in Brazilian Eucalypt Plantations on Soils of Contrasting Texture. Forests, 6:973-991, 2015.

PULROLNIK, K.; BARROS, N. F.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BRANDANI, C. B. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no Vale do Jequitinhonha - MG. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 33:1125-1136, 2009.

ROCHA, J. H. T.; PIETRO, M. R.; BORELLI, K. B. C.; NEVES, M. B. Produção e desenvolvimento de mudas de eucalipto em função de doses de fósforo. Revista Cerne, 19:535-543, 2013.

ROS, C. O.; PERRANDO, E. R.; SOMAVILLA, L.; ENGEL, K.; PREDIGE, D. M. S. A.; SILVA, R. F.; SILVA, V. R. Crescimento inicial de povoamentos mistos de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Toona ciliata* M. Roem var. *australis* com supressão de macronutrientes primários. Scientia Forestalis, 44:769-777, 2016.

SAMPAIO, T. F.; DALCIN, T. E.; BOGIANI, J. C.; MORI, E. S.; GUERRINI, I. A. Selection of eucalyptus clones and adjustment of potassium doses for extended drought in Bahia Savanna. Revista Árvore, 40:1031-1039, 2016.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; LEITE, H. G.; COMERFORD, N. B. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32:2723-2733, 2008.

SILVA, P. H. M.; POGIANI, F.; LIBARDI, P. L.; GONÇALVES, A. N. Fertilizer management of eucalypt plantations on sandy soil in Brazil: Initial growth and nutrient cycling. *Forest Ecology and Management*, 301:67-68, 2012.

SMETHURST, P.; HOLZA, G.; MORONIA, M.; BAILLIE, C. Nitrogen management in *Eucalyptus nitens* plantations. *Forest Ecology and Management*, 193:63-80, 2004.

SPURR, S. H. Forest inventory. New York. Ronald Press. 1952, 476 p.

STAHL, J. Resposta inicial de *Eucalyptus* spp. à adubação fosfatada e potássica no Planalto Sul Catarinense. 2009. (Dissertação de Mestrado), Centro de Ciências Agroveterinária, Universidade Estadual de Santa Catarina, Lages, 69f.

STAHL, J.; ERNANI, P. R.; GATIBONI, L. C.; CHAVES, D. M.; NEVES, C. U. Produção de massa seca e eficiência nutricional de clones de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* em função da adição de doses de fósforo ao solo. *Ciência Florestal*, 23:287-295, 2013.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; FONSECA, S.; LOOS, R. A.; TAKAHASHI, E. N.; SILVA, C. R.; SILVA, S.R.; HAKAMADA, R. E.; FERREIRA, J.M.D.; et al. The Brazil *Eucalyptus* potential productivity project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. *Forest Ecology and Management*, 259:1684-1694, 2010.

XU, D.; DELL, B.; MALAJCZUK, N.; GONG, M. Effects of P fertilisation on productivity and nutrient accumulation in a *E. grandis* x *urophylla* plantation in southern China. *Forest Ecology and Management*, 161:89–100, 2002.

XU, D.; DELL, B.; YANG, Z.; MALAJCZUK, N.; GONG, M. Effects of phosphorus application on productivity and nutrient accumulation of a *Eucalyptus urophylla* plantation. *Journal of Tropical Forest Science*, 17:447–461, 2005.

3 CAPÍTULO 2. COMPOSIÇÃO FOLIAR DE *Eucalyptus urograndis* EM DOIS SÍTIOS ADUBADOS COM N, P E K NO SUL DO BRASIL

3.1 RESUMO

As folhas são tecidos das plantas utilizadas como ferramenta no estabelecimento da diagnose nutricional e avaliação da efetividade do uso de nutrientes. Estes conhecimentos são ainda escassos sob condições subtropicais de cultivo. Neste sentido, o estudo tem por objetivo avaliar o efeito da fertilização com N, P e K na concentração foliar de *Eucalyptus urograndis* em Jaguariaíva e Ventania no estado do Paraná. Os experimentos foram instalados em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico textura franco-arenosa, no município de Jaguariaíva e Ventania, estado do Paraná. No experimento N e P foram testadas as seguintes doses, 0, 30, 60, 120 e 240 kg ha⁻¹ de N e P₂O₅; e 0, 35, 70, 140 e 280 kg ha⁻¹ de K₂O. Parcelado em quatro vezes, uma de base e três de cobertura aos 3, 9 e 12 meses de idade. A resposta foi avaliada através do estado nutricional das plantas aos 12, 24 e 36 meses. Também foram avaliados níveis de deficiência de potássio, através da descoloração foliar (visual) e análise química. A aplicação do N e P não resultou em alteração nos teores foliares destes nutrientes em todos os períodos avaliados e nas duas regiões, ocorrendo uma leve diminuição das concentrações com o tempo. Efeito diferente ocorreu com o K no sítio de Jaguariaíva onde foi verificada alterações de concentrações foliares aos 24º e 36º mês, e também aumento das concentrações foliares com o tempo. Esses efeitos demonstram que muitas vezes o diagnóstico foliar através das concentrações foliares pode apresentar limitações de interpretação e não deve ser avaliado isoladamente para recomendação de fertilização.

Palavras-chave: Nutrição florestal, Fertilização florestal, Subtropical, Eucalipto, Faixas críticas.

3.2 ABSTRACT

Foliar composition has been used as a tool in the establishment of nutritional diagnosis and evaluation of the effectiveness of nutrient use. This knowledge is still scarce under subtropical cultivation conditions. Considering this, this study aims to evaluate the effect of N (Nitrogen), P (Phosphorus) and K (Potassium) fertilization on leaf concentration of *Eucalyptus urograndis*. The experiments were installed in the Oxisols dystrophic of the sandy-loam texture, in the municipality of Jaguariaíva and Ventania, state of Paraná. In the N and P experiments, the following doses, 0, 30, 60, 120 and 240 kg ha⁻¹ of N and P₂O₅; and 0, 35, 70, 140 and 280 kg ha⁻¹ K₂O. It was divided in four times, one of base and three of coverage at 3, 9 and 12 months of age. The response was evaluated according to the nutritional status of the plants at 12, 24 and 36 months, by foliar concentration. Potassium deficiency levels were also evaluated through visual and chemical analysis. The application of N and P did not result in alteration in the leaf contents of the same in all evaluated periods and in the two regions, with a slight decrease in the concentrations with time. A different effect occurred with K at the Jaguariaíva site, which altered its foliar concentration at 24 and 36 months, and increased foliar concentrations occurred with time. These effects demonstrate that foliar diagnosis, through foliar concentrations, may present limitations of interpretation and should not be evaluated separately for fertilization recommendation.

Keyword: Forest nutrition, Forest fertilization, Subtropical, Eucalypt, Tracks critical.

3.3 INTRODUÇÃO

Após dois ou três ciclos com *Pinus taeda* L. ou *Pinus elliottii* Engelm sob clima subtropical, muitas das áreas com reflorestamento no Sul do Brasil, estão sendo renovadas por eucaliptos. Por apresentar rápido crescimento e ser mais exigente em termos de nutrientes, os novos plantios com eucalipto provavelmente exigirão melhoria na fertilidade. Porém a necessidade de adubação e avaliação do estado nutricional do eucalipto nesta nova condição é pouco conhecida.

Em diversos países vem se estabelecendo níveis críticos de nutrientes para a maioria das espécies com finalidade de auxiliar na recomendação de fertilizantes (Millner & Kemp, 2012). No Brasil faixas críticas foliares para eucalipto foram estabelecidas por Silveira et al. (2000) e Gonçalves (2011) sob condição tropical e para *Eucalyptus urograndis*. Ambos os autores estabeleceram valores críticos de N muito próximos, entre 21 a 30 g kg⁻¹. Contudo para o P e K as faixas são distintas para o que pode ser considerado adequado, Silveira et al. (2000) e Gonçalves (2011) estabeleceram faixa de 1,7 a 2,2 e 1,0 a 1,3 g kg⁻¹ P, respectivamente. Silveira et al. (2000) também definiu exigências mais altas e estreitas para o K sendo entre 8,5 a 9,0 g kg⁻¹ e Gonçalves (2011) entre 5,5 a 8,5 g kg⁻¹. Nota-se que os níveis máximos do segundo autor estariam em deficiência para o primeiro. Isso ocorre provavelmente pela seleção de variedades de eucaliptos mais eficientes na utilização dos nutrientes (Faria et al., 2008; Stahl et al., 2013). Em relação ao Ca essa faixa também ficou diferente, 7,1 a 11 g kg⁻¹ para Silveira et al. (2000) e 3,5 a 6,0 g kg⁻¹ para Gonçalves (2011), enquanto Mg pode-se considerar entre 2,0 a 3,0 g kg⁻¹ para ambos os autores.

Em relação aos micronutrientes os valores são relativamente próximos, Silveira et al. (2000) determinaram para Cu, Zn, B, Fe e Mn os seguintes valores 6 a 7, 15 a 20, 34 a 44, 65 a 125 e 200 a 840 mg kg⁻¹, respectivamente. Gonçalves (2011) apresentou 7 a 10, 10 a 18, 30 a 60, 70 a 200 e 100 a 800 mg kg⁻¹ para Cu, Zn, B, Fe e Mn, respectivamente.

Importante informação que não aparece nos manuais de diagnósticos nutricionais é a idade do reflorestamento, responsável por grandes alterações nas concentrações decorridas ao longo do tempo e das condições do sítio (Gonçalves et al., 2004). Laclau et al. (2000) constataram variações no tecido foliar do primeiro até o sétimo ano para *Eucalyptus urograndis* no Congo em solo arenoso, apresentando

tendência de aumento para o N, diminuição para o P, K, Ca e Mg. Em condições tropicais no Brasil e para o *E. urograndis* alguns trabalhos também mostram essa variação de concentração ao longo do tempo e os resultados são variáveis até o 36º mês, Silva et al. (2013) encontraram tendência de diminuição para o P e K, e aumento para o Ca, enquanto N e Mg apresentou comportamento diverso, também em solo arenoso no estado de São Paulo. Enquanto para Melo et al. (2016) houve aumento para N, oscilação para o P e diminuição para o K, em condições subtropicais e tropicais no estado de São Paulo e Mato Grosso do Sul, com textura entre 7 e 16% de argila.

À vista disso nota-se a grande divergência quanto ao comportamento das concentrações foliares. No Brasil as faixas críticas para o eucalipto se encontram desatualizados, contendo poucas informações por espécies, por idade da árvore e principalmente para condições subtropicais.

Dessa forma esse trabalho visa obter informações referentes ao estado nutricional do *Eucalyptus urograndis* sob doses de N, P e K aplicados em separado em duas regiões tradicionalmente florestais no Sul do Brasil. Sob a hipótese de que as faixas críticas utilizadas no Brasil podem ser aplicadas em sítios localizados em condição subtropical e solos florestais.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Caracterização da área de estudo

As unidades experimentais foram instaladas nos municípios de Jaguariaíva e Ventania, ambos no estado do Paraná, nas coordenadas geográficas 24° 15' 12" S e 49° 40' 40" O e altitude de 926 m para o primeiro, e 24° 01' 17,25" S e 50° 15' 39,62" O e altitude de 718 m para o segundo. A implantação do experimento ocorreu nos meses de dezembro de 2013 para Jaguariaíva e abril de 2014 para Ventania. Em ambos os municípios o solo é classificado como Latossolos Vermelho-Amarelo Distrófico, textura franco-arenosa. A área em Jaguariaíva caracteriza-se por ter o relevo suave ondulado tendo como formação geológica Arenito Furnas do grupo Paraná. Esta rocha caracteriza pela predominância mineralógica do quartzo, originando solos arenosos, ácidos e estéreis (Bodziak & Maack, 2001). Enquanto

Ventania a formação geológica Arenito Indiferenciado (Rio do Sul, Mafra e Campo do Tenente) do grupo Itararé, com composição mineralógica também quartzosa, porém, com a presença de feldspato (Bodziak & Maack, 2001). O relevo da área experimental varia de suave ondulado a ondulado, sob.

As duas regiões de estudo são caracterizadas segundo Alvares et al. (2013), adaptado de Köppen, como clima subtropical úmido, zona climática C, sendo que Jaguariaíva está no tipo Cfb, onde as temperaturas no verão são mais amenas. Enquanto Ventania está em uma região de transição entre Cfb e Cfa, este caracterizado por verões mais quentes.

As duas áreas experimentais possuíam aproximadamente três hectares cada, com pinus como cultura antecessora, plantado no espaçamento 3 x 2 m. Os plantios foram submetidos ao corte raso com extração de toras e galhos no experimento de Jaguariaíva e enleiramento dos galhos e ponteiros (ápice dos troncos) na área de Ventania.

Após o corte foi realizado amostragem do solo até 100 cm de profundidade para caracterização química dos solos (TABELA 1) seguindo a metodologia descrita pela EMBRAPA (2009).

TABELA 1 - Características químicas das áreas antes do plantio de *Eucalyptus urograndis* nos experimentos, em Jaguariaíva e Ventania, Paraná.

Profundidade (cm)	pH		Al	H+Al	Ca	Mg	K	SB	CTC	P	C	V	m
	CaCl ₂	SMP											
Jaguariaíva													
0-20	3,8	5,7	1,5	6,4	0,2	0,2	0,02	0,4	6,8	1,0	23,6	5,3	81,3
20-40	3,9	5,9	1,2	2,2	0,1	0,1	0,02	0,2	5,5	0,7	16,1	4,0	85,0
40-60	4,0	6,1	1,0	4,6	0,1	0,1	0,01	0,2	6,0	0,6	17,4	4,3	82,7
60-80	4,0	6,2	0,9	4,3	0,1	0,1	0,01	0,2	4,5	0,8	14,0	4,7	80,3
80-100	4,1	6,3	0,8	3,9	0,1	0,1	0,01	0,2	4,1	0,7	10,2	5,0	78,3
Ventania													
0-20	4,3	6,2	1,5	4,3	0,1	0,1	0,03	0,3	4,6	2,2	21,0	5,9	84,6
20-40	4,5	6,7	1,1	3,0	0,1	0,1	0,03	0,2	3,3	1,6	11,0	7,1	82,9
40-60	4,4	6,8	1,2	2,7	0,1	0,1	0,03	0,2	3,0	0,4	7,3	7,8	83,8
60-80	4,5	6,8	1,3	2,6	0,1	0,1	0,02	0,2	2,9	0,8	6,0	7,8	85,4
80-100	4,5	6,9	1,1	2,6	0,1	0,1	0,05	0,3	2,9	2,8	6,4	9,7	78,0

FONTE: O Autor (2018).

SB=Soma de bases; CTC=CTC pH=7; V=Saturação por bases; m=Saturação por alumínio.

3.4.2 Instalação das unidades amostrais

Antes do plantio das mudas nos experimentos foram aplicadas 2.000 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico (Poder Relativo de Neutralização total - PRNT = 82%) por hectare a lançar na superfície do solo, sem incorporação. Após a calagem foi feita a

descompactação do solo com a utilização de um subsolador a uma profundidade de 45 cm. Nesta mesma operação foi aplicado 200 kg ha⁻¹ de fosfato natural reativo (29% de P₂O₅ total) a uma profundidade de 25 cm.

O plantio das mudas de eucalipto clonal *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (*Eucalyptus urograndis*, clone AEC 224), foi realizado com plantadeira manual, sobre a linha de subsolagem, com espaçamento 3 x 3 m. Após o plantio, foram marcadas parcelas de 576 m² (8 linhas com 8 plantas cada), para compor os experimentos, montados em blocos ao acaso, com quatro repetições.

Em cada local (Jaguariaíva e Ventania) foram conduzidos três experimentos em separado. Nos experimentos para avaliar a adubação nitrogenada e fosfatada foram aplicados cinco tratamentos, correspondentes às doses 0, 30, 60, 120 e 240 kg ha⁻¹ de N e P₂O₅, respectivamente. E no experimento para avaliar a adubação potássica, foram utilizadas as doses de 0, 35, 70, 140 e 280 kg ha⁻¹ de K₂O. Todas as doses de todos os experimentos foram parceladas em quatro aplicações (plantio, 3, 9 e 12 meses). A aplicação de adubo/tratamento foi realizada com o mesmo equipamento utilizado para o plantio, que permitiu introduzir o adubo a cerca de 5 cm de profundidade no solo descompactado na linha de subsolagem. A dose de adubo foi dividida em duas partes iguais, aplicada nos dois lados da muda, a uma distância de 15 cm da mesma, acompanhando a linha de subsolagem.

Além da adubação avaliada nos tratamentos, também foram aplicados no plantio 8,5, 51 e 17 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O, respectivamente e outras três adubações de cobertura aos três, nove e 12 meses de idade com 24, 8, 48 e 0,8 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O e B, respectivamente, aplicados na linha de projeção da copa. Em cada experimento, o elemento testado não foi aplicado nestas adubações complementares. As fontes utilizadas em todas as adubações foram ureia (46% de N), superfosfato triplo (45% de P₂O₅), cloreto de potássio (60% de K₂O) e ácido bórico (17% de B).

3.4.3 Análises foliares

Foram coletadas para análise nutricional do eucalipto amostras foliares do terço médio da planta de um ramo secundário, excluindo folhas novas e senescentes, ou seja, folhas fisiologicamente ativas, nos quatro pontos cardeais das quatro árvores centrais da parcela e misturadas para tirar uma amostra composta (FERNANDES,

2010) (ANEXO 12). Procedimento realizado em todas as parcelas de ambos os experimentos, aos 6, 12, 24 e 36 meses no sítio Jaguariaíva e 12, 24 e 36 meses em Ventania. Após essa etapa as folhas foram lavadas em água deionizada e foram completamente secas a 65°C e moídas em moinho tipo Willey e submetidas à análise química para determinação dos macronutrientes: P, K, Ca, Mg e S, micronutrientes: B, Cu, Fe, Mn e Zn, além dos elementos Al, Cd, Ni e Co. A metodologia analítica foi proposta por Martins e Reissmann (2007) que consiste na digestão via seca a 500 °C com posterior solubilização em HCl 3 mols L⁻¹ depois fazendo a determinação no espectrofotômetro por emissão de plasma (modelo: VARIAN 720-ES ICP).

Com o material foliar beneficiado foi realizada a determinação do nitrogênio e carbono. Para isso, esse material foi novamente moído em moinho mecânico e pesadas amostras de 15 mg que foram acondicionadas em cápsulas de estanho. E depois foram postas no analisador elementar (modelo: VARIO EL III) para determinação do N e C elementar, para as duas regiões nos períodos 12, 24 e 36 meses.

Os dados foram submetidos análise de variância e quando detectados efeitos significativos foram ajustadas equações de regressão, considerando a probabilidade de 0,1 %, 1 % e 5 % ($p < 0,01$ e $0,01 < p < 0,05$) e o valor do coeficiente de determinação (r^2).

3.4.4 Teste deficiência de potássio

Utilizando o experimento com adubação potássica, foi idealizado com o tratamento testemunha (0 kg ha⁻¹ de K₂O) um teste de deficiência. Com o objetivo de determinar a concentração que indica o nível crítico de deficiência de potássio nas folhas. Para isso foram criadas quatro categorias de deficiência, sendo a primeira categoria a deficiência severa (Nível I), deficiência moderada (Nível II), deficiência leve (Nível III) e sem deficiência (Nível IV), categorias criadas através do diagnóstico visual das folhas.

A categoria considerada mais deficiente apresentava sintoma típico de falta de potássio, com necrose marginal no sentido do ápice para a base da folha, também chamado de sintoma em “V” invertido (FIGURA 4). Nessas folhas foram realizadas análises dos teores foliares conforme descrito no item análises foliares. Os teores

foliares deste teste foram avaliados pelo teste de comparação de média de Tukey, sendo anteriormente verificada a homogeneidade das variâncias pelo teste de Barlett e realizada a análise de variância.

3.5 RESULTADOS

3.5.1 Concentração dos macronutrientes N, P e K

N- A adubação nitrogenada não resultou em variação em sua concentração foliar em ambos os sítios, ao longo de 36 meses (TABELA 2). Avaliando a concentração em relação ao período de avaliação, foi constatada menores valores para concentração aos 24 meses em Ventania (TABELA 2). Já no sítio de Jaguariaíva os valores foram de variabilidade maior sem uma definição clara do tempo (TABELA 2). É importante considerar que no sítio de Ventania todo material lenhoso foi enleirado, enquanto Jaguariaíva foi retirado todo o material lenhoso superior a cinco centímetros de diâmetro.

TABELA 2 - Teor foliar de nitrogênio, fósforo e potássio em função da aplicação de 0, 30, 60, 120 e 240 kg ha⁻¹ de N e P₂O₅ e 0, 35, 70, 140 e 280 kg ha⁻¹ K₂O em *Eucalyptus urograndis* nas regiões de Jaguariaíva e Ventania, Paraná, Brasil.

Experimento/Sítio	Meses	Elemento	Regressão	Média	Desvio Padrão	r ²	ρ
N/Jaguariaíva	12	N (g kg ⁻¹)	$y = -0,000005.x^2 + 0,0189.x + 19,96$	21,6	1,94	0,27	0,06
	24	N (g kg ⁻¹)	$y = 0,00008.x^2 - 0,00842.x + 19,22$	19,6	1,19	0,28	0,06
	36	N (g kg ⁻¹)	$y = -0,00002.x^2 - 0,0144.x + 22,10$	20,6	4,85	0,07	0,53
N/Ventania	12	N (g kg ⁻¹)	$y = -0,0000007.x^2 + 0,009.x + 18,74$	19,5	0,91	0,07	0,51
	24	N (g kg ⁻¹)	$y = -0,00002.x^2 + 0,0071.x + 16,39$	16,7	0,50	0,04	0,69
	36	N (g kg ⁻¹)	$y = 0,00003.x^2 + 0,0012.x + 19,37$	19,8	0,99	0,09	0,41
P/Jaguariaíva	6	P (g kg ⁻¹)	$y = 0,000003.x^2 - 0,0003.x + 1,49$	1,51	0,07	0,19	0,16
	12	P (g kg ⁻¹)	$y = -0,000007.x^2 + 0,0023.x + 0,70$	0,81	0,10	0,26	0,07
	24	P (g kg ⁻¹)	$y = 0,000006.x^2 - 0,0013.x + 0,98$	0,96	0,07	0,05	0,63
	36	P (g kg ⁻¹)	$y = -0,00001.x^2 + 0,0045.x + 0,89$	1,12	0,17	0,35	0,06
P/Ventania	12	P (g kg ⁻¹)	$y = -0,000001.x^2 + 0,0007.x + 0,65$	0,68	0,05	0,09	0,45
	24	P (g kg ⁻¹)	$y = 0,000003.x^2 + 0,00007.x + 0,82$	0,92	0,14	0,35	0,06
	36	P (g kg ⁻¹)	$y = -0,0000005.x^2 + 0,003.x + 1,15$	1,16	0,03	0,01	0,94
K/Jaguariaíva	6	K (g kg ⁻¹)	$y = -0,00003.x^2 + 0,0105.x + 10,17$	10,5	0,53	0,02	0,83
	12	K (g kg ⁻¹)	$y = -0,00004.x^2 + 0,0164.x + 3,71$	4,67	0,94	0,25	0,09
	24	K (g kg ⁻¹)	$y = 0,00007.x^2 - 0,0113.x + 4,99$	5,28	1,20	0,60	0,0004**
	36	K (g kg ⁻¹)	$y = -0,000003.x^2 + 0,0113.x + 4,17$	5,29	1,17	0,49	0,0034**

Experimento/Sítio	Meses	Elemento	Regressão	Média	Desvio Padrão	r ²	p
K/Ventania	12	K (g kg ⁻¹)	$y = -0,00005.x^2 + 0,0206.x + 3,61$	4,7	1,10	0,22	0,11
	24	K (g kg ⁻¹)	$y = -0,00002.x^2 + 0,01.x + 7,10$	7,65	0,57	0,08	0,5
	36	K (g kg ⁻¹)	$y = -0,00001.x^2 + 0,01.x + 6,33$	7,05	0,91	0,10	0,38

FONTE: O Autor (2018).

y: variável dependente (teor foliar); x: variável independente (dose do fertilizante); r²: coeficiente de determinação; p: valor p; ** significativo a 1% de probabilidade (p<0,01).

P - O uso de P não resultou em acréscimos em suas concentrações foliares nos períodos avaliados em ambos os sítios (TABELA 2). Tendência foi observada aos 36 meses para concentração foliar em Jaguariaíva. Existe uma relação direta entre idade e concentração de P, em todos os tratamentos, iniciando em 0,81 g kg⁻¹ aos 12 meses para 1,12 g kg⁻¹ aos 36 meses no sítio Jaguariaíva (TABELA 2). Porém, aos seis meses a concentração foi de 1,51 g kg⁻¹, período de maior concentração (TABELA 2). No sítio Ventania tendência semelhante foi observada com aumento de 0,68 g kg⁻¹ para 1,16 g kg⁻¹ aos 36 meses (TABELA 2). Pode-se observar maior concentração nos teores de P no sítio Jaguariaíva em relação ao sítio Ventania, no primeiro as concentrações foram 1,51; 0,81; 0,96 e 1,12 aos 6, 12, 24 e 36 meses, respectivamente, enquanto no segundo foi de 0,69; 0,92 e 1,16 aos 12, 24 e 36 meses, respectivamente (TABELA 2).

K - A concentração de K na planta só foi afetada pela adubação para o sítio de Jaguariaíva e apenas aos 24 e 36 meses, ou seja, mais de um ano após término da aplicação. Com a concentração de 7,41 e 7,11 g kg⁻¹ de K, aos 24 e 36 meses, respectivamente, na dose de 280 kg ha⁻¹ de K₂O (TABELA 2). No tratamento com ausência de K foram observados sintomas de deficiência de K nas folhas internas a copa a partir do sexto mês. O efeito do potássio para ambos os sítios e na maioria dos tratamentos apresentaram comportamento semelhante, aumentando do 12º mês para o 24º mês e redução no 36º mês (TABELA 2). Essa tendência foi mais acentuada no sítio de Ventania na média os valores foram de 4,70; 7,65 e 7,05g kg⁻¹ aos 12, 24 e 36 meses, respectivamente (TABELA 2). Já no experimento de Jaguariaíva na média os valores foram de 10,5; 4,67; 5,28 e 5,29 g kg⁻¹ aos 6, 12, 24 e 36 meses, respectivamente (TABELA 2). Pode-se destacar que nos dois os sítios o tratamento testemunha foi o que apresentou menor concentração aos 12 e 36 meses (TABELA 2), e a concentração no sítio Ventania foi levemente superior a Jaguariaíva.

3.5.2 Efeito da adubação N, P e K na concentração dos micronutrientes e outros elementos

O boro foi o único micronutriente que sofreu alteração na concentração foliar, devido à aplicação dos fertilizantes N, P e K aos 12 meses, e 24 meses somente sob aplicação de N (TABELA 3). Em relação aos outros elementos a aplicação de N resultou em alteração sobre a concentração do Al, Cd, Co e Ni, no sítio de Jaguariaíva aos 12 meses. Já aos 24 meses nenhuma mudança foi observada. Menos responsivo que o sítio de Jaguariaíva, o sítio de Ventania apresentou para Cd e Co alteração devido à aplicação de N, aos 36 meses (TABELA 3). Havendo uma clara indicação de diminuição do efeito da adubação no tempo, visto a diminuição no número de nutrientes que tiveram efeitos significativos aos 36 meses.

TABELA 3. Dados significativos para análise de regressão dos teores nutricionais de *Eucalyptus urograndis* sob aplicação de 0, 30, 60, 120 e 240 kg ha⁻¹ de N e P₂O₅ e 0, 35, 70, 140 e 280 kg ha⁻¹ K₂O no sítio de Jaguariaíva e Ventania, Paraná, Brasil.

Experimento/Sítio	Meses	Elemento	Regressão	Média	Desvio Padrão	r ²	p
Micronutrientes							
N/Jaguariaíva	12	B (mg kg ⁻¹)	y = -0,0003.x ² - 0,11.x + 249	236	21,8	0,48	0,004
	24	B (mg kg ⁻¹)	y = 0,0003.x ² - 0,11.x + 32,6	27,2	5,42	0,44	0,007
P/Jaguariaíva	12	B (mg kg ⁻¹)	y = 0,0012.x ² - 0,39.x + 111	94,8	15,0	0,51	0,002
K/Jaguariaíva	12	B (mg kg ⁻¹)	y = -0,0039.x ² + 1,44.x + 142	212,3	55,9	0,63	<0,001
Outros elementos							
N/Jaguariaíva	12	Al (mg kg ⁻¹)	y = -0,0100.x ² + 1,38.x + 566	536	173	0,43	0,008
		Cd (mg kg ⁻¹)	y = 0,000002.x ² - 0,0002 + 0,04	0,05	0,04	0,41	0,011
		Co (mg kg ⁻¹)	y = 0,00002.x ² - 0,004.x + 0,39	0,42	0,38	0,41	0,011
		Ni (mg kg ⁻¹)	y = -0,00002.x ² + 0,002.x + 2,44	2,13	0,76	0,43	0,008
N/Ventania	36	Cd (mg kg ⁻¹)	y = 0,000004.x ² - 0,001.x + 0,08	0,04	0,05	0,44	0,007
		Co (mg kg ⁻¹)	y = 0,000007.x ² - 0,003.x + 0,68	0,50	0,02	0,44	0,007

FONTE: O Autor (2018).

y: variável dependente (teor foliar); x: variável independente (dose do fertilizante); r²: coeficiente de determinação; p: valor p.

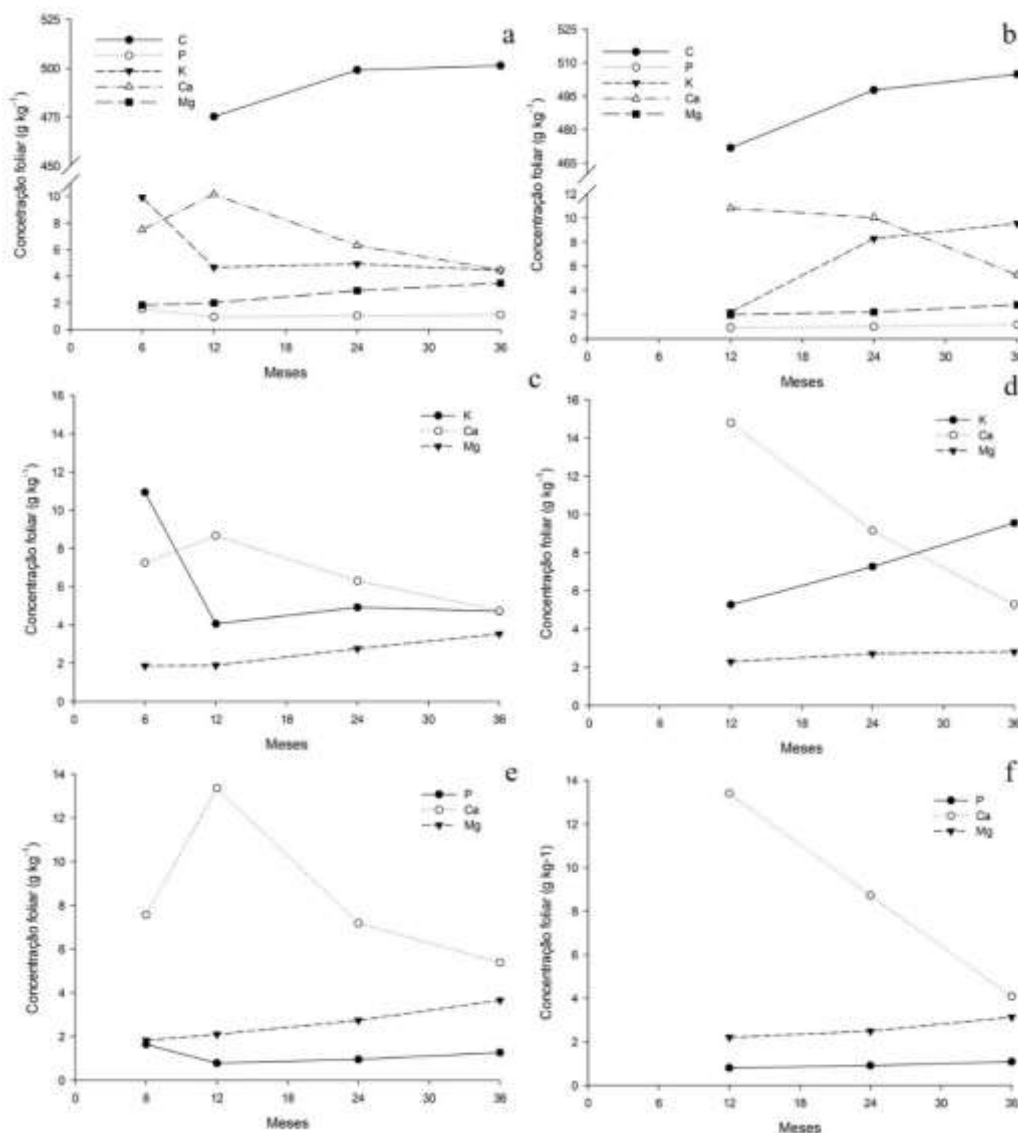
3.5.3 Variação temporal dos macros, micronutrientes e outros elementos no tecido foliar ao longo do tempo

Os teores de carbono nas folhas para as duas regiões foram menores aos 12 meses aumentando ao longo do tempo, passando de 475 e 472 g kg⁻¹ aos 12 meses para 499 e 497 g kg⁻¹ aos 24 meses e 501 e 505 g kg⁻¹ aos 36 meses (FIGURA 1 a), respectivamente. Ocorreu mudanças nas concentrações dos macronutrientes (Ca, Mg

e K) independente das doses de N, P e K aplicados (FIGURA 1). Mas, com comportamento distintos, aumento para o K e Mg e diminuição para o Ca (FIGURA 1).

Outra observação que pode ser feita é a separação por gradiente de concentração nutricional nos diferentes períodos avaliados, aos 12 e 24 meses em ambos os sítios seguiu a sequência $Ca > K > Mg > P$, aos 36 meses houve o aumento no teor de K, alterando a sequência para $K > Ca > Mg > P$ (FIGURA 1).

FIGURA 1 – Concentração foliar ao longo de 36 meses de C, P, K, Ca e Mg em *Eucalyptus urograndis* para os experimentos N (a; b), P (c; d) e K (e; f) nos sítios de Jaguariaíva (a; c; e) e Ventania (b; d; f), PR, Brasil.

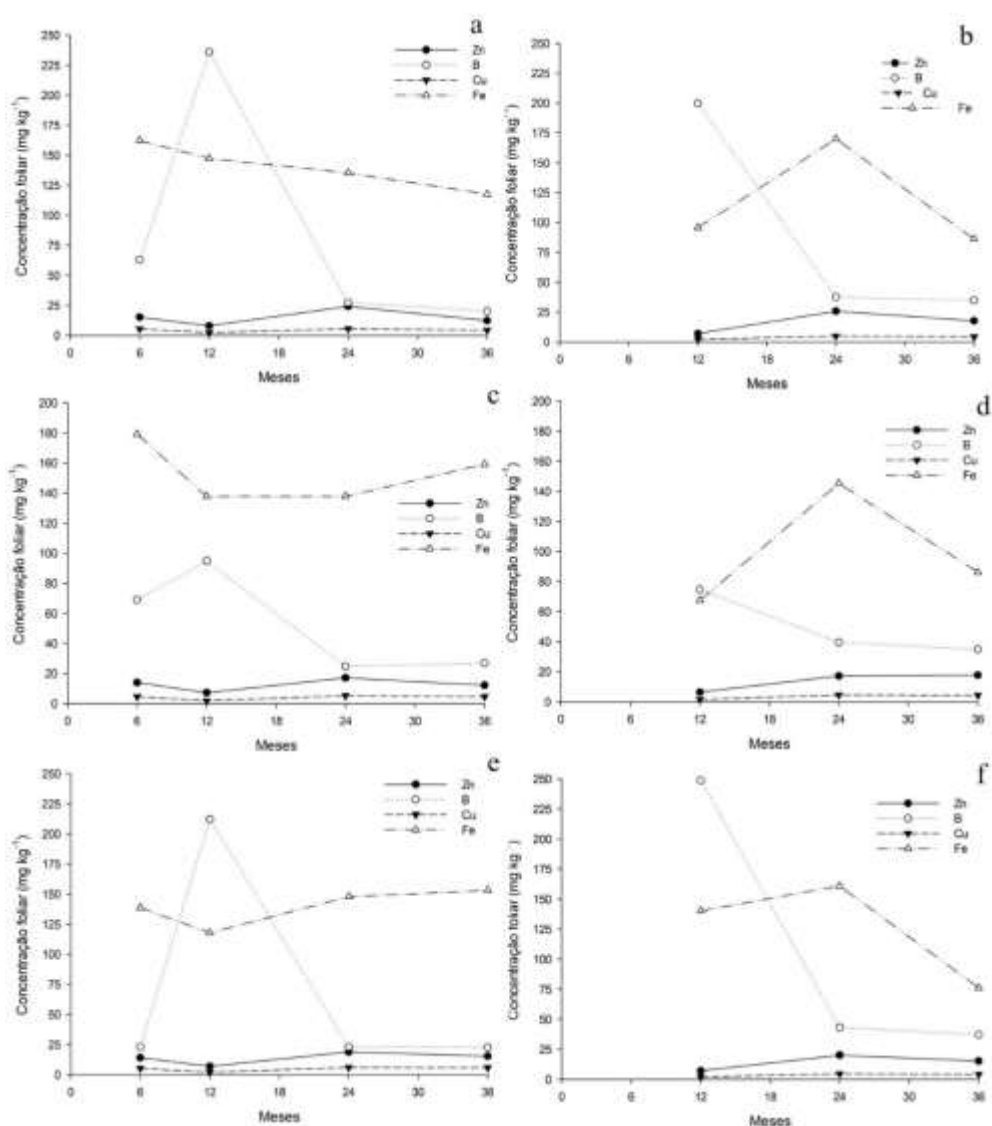


FONTE: O Autor (2018).

A idade da planta também influenciou a concentração dos micronutrientes, ocorrendo tendência de diminuição da concentração de Fe, B e Cu (FIGURA 2), tendo suas maiores concentrações nos primeiros 12 meses. O oposto foi observado para o Zn com tendência de aumento entre 12 aos 24 meses e estabilizando até o 36º mês (FIGURA 2).

Também é possível fazer a separação dos micronutrientes por gradiente de concentração, aos 12 meses a sequência foi B > Fe > Zn > Cu, enquanto aos 24 e 36 meses a sequência foi Fe > B ≥ Zn > Cu.

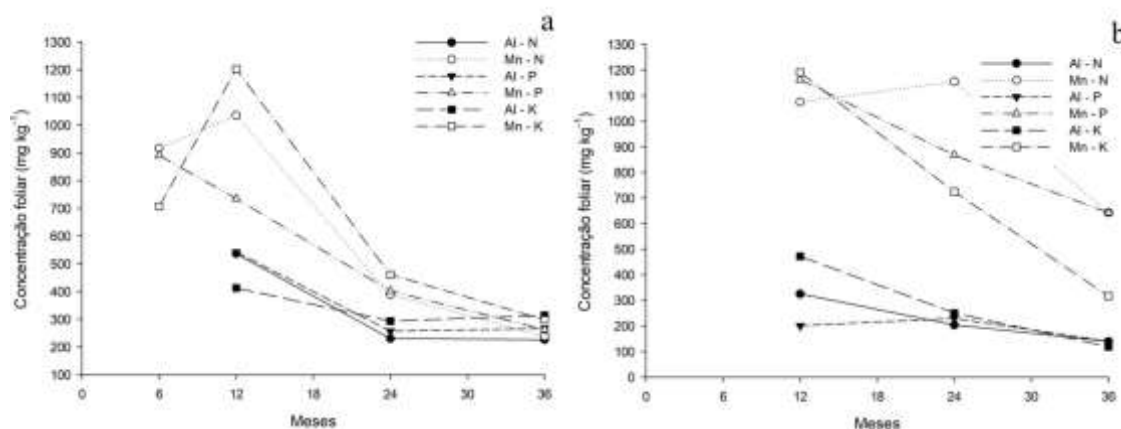
FIGURA 2 - Concentração foliar ao longo de 36 meses de Fe, Cu, B e Zn em *Eucalyptus urograndis* para os experimentos N (a; b), P (c; d) e K (e; f) nos sítios de Jaguariaíva (a; c; e) e Ventania (b; d; f), PR, Brasil.



FONTE: O Autor (2018).

Os elementos Al e Mn tiveram concentrações que reduziram expressivamente ao longo do tempo (FIGURA 3 a; b). A concentração de Mn aos 12 meses em todos os experimentos estavam entre 735 a 1202 mg kg⁻¹, aos 24 meses a redução foi mais acentuada para o sítio Jaguariaíva, passando para 450 mg kg⁻¹, e em seguida para 300 mg kg⁻¹ aos 36 meses. Já para Ventania a diminuição das concentrações dos 12 meses para 24 meses foi menor, e ao final a concentração foi superior ao encontrado em Jaguariaíva. O Al seguiu a mesma tendência, porém com valores inferiores com concentrações iniciais entre 300 a 500 mg kg⁻¹ e aos 36 meses com concentração mais próxima a 200 mg kg⁻¹ (FIGURA 3 a; b).

FIGURA 4 - Teores de Mn e Al ao longo de 36 meses em *Eucalyptus urograndis* para os experimentos N, P e K nos sítios de Jaguariaíva (a) e Ventania (b), PR, Brasil.

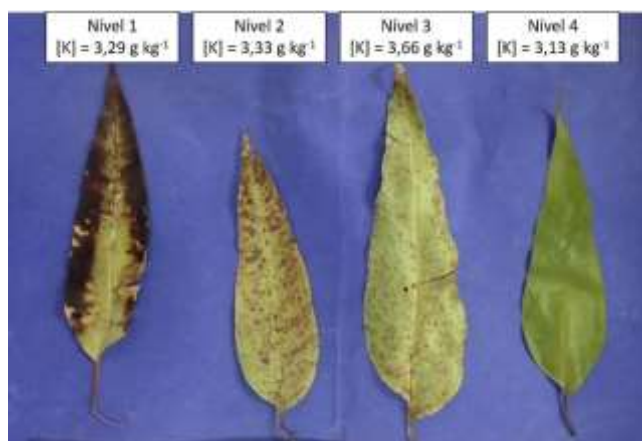


FONTE: O Autor (2018).

3.5.4 Teste de deficiência de potássio

As categorias de separação do teste deficiência de potássio não apresentaram diferença estatística, muito embora, os sinais de sintomas foliares sejam bastante evidentes. Os valores encontrados foram de 3,29, 3,33, 3,66 e 3,13 g kg⁻¹ de K para as categorias I, II, III e IV, respectivamente (FIGURA 4).

FIGURA 4 - Níveis de deficiência por potássio em *Eucalyptus urograndis* (clone AEC – 224) e concentração foliar.



FONTE: O Autor (2018).

3.6 DISCUSSÃO

3.6.1 Concentração dos macronutrientes N, P e K

N - A faixa de concentração de N observada no presente estudo, 18 a 21 g kg⁻¹, estão dentro ou próximas à considerada adequada, 20 a 30 g kg⁻¹, por Silveira et al. (2000) e Gonçalves (2011) em ambos os locais estudados. Mas, pode ser considerado adequado quando comparado a faixa de 18 a 29 g kg⁻¹ proposto Dell et al. (2002) (APÊNDICE 1). Porém essa manutenção de níveis próximos ao adequado indicou uma alta disponibilização de N pelo solo mesmo após três anos, visto que não houve efeito da fertilização de N sobre as concentrações foliares. Ausência da alteração do N sobre a concentração foliar também foram encontrados por Jesus et al. (2012) em eucalipto aos 30 meses em função da adubação, obtendo média de 19,9 g kg⁻¹ de N foliar. Também, não houve efeito da adubação com N em nenhum dos parâmetros de crescimentos avaliados (altura, DAP, volume total) (CAPÍTULO 1).

A ausência de alterações na concentração do N foliar corrobora com a indicação de uma boa disponibilização pelos solos ou resíduo da cultura anterior. A alta concentração de C orgânico observada em Jaguariaíva (23,6 g dm⁻³) e Ventania (21,0 g dm⁻³), sugere uma alta disponibilização de N (Pulito et al., 2015).

Com isso, os sítios estudados indicaram alta suficiência em N e provavelmente tendem a permanecer para os próximos anos, devido ao aumento dos ciclos biogeoquímicos e principalmente pela retranslocação interna do N, que tende aumentar a partir do terceiro ano (Barreto et al., 2012). Essa condição se reforça, pelo fato das pequenas oscilações nos teores N foliar ao longo dos anos (TABELA 2), indicando a forte capacidade bioquímica da planta em fazer a manutenção do N.

P - As concentrações foliares de P ficaram abaixo do considerado adequado (1,0 g kg⁻¹), estabelecido por Gonçalves (2011), nos períodos de 12 e 24 meses em Jaguariaíva e Ventania, porém aos 36 meses com a elevação dos teores para 1,2 g kg⁻¹ atingiu o nível adequado. Enquanto Silveira et al. (2000) em todos os períodos e sítios os teores ficaram abaixo do adequado (APÊNDICE 2).

Mesmo aplicando 280 kg ha⁻¹ de P₂O₅ solúvel próximo a planta ao longo de um ano, essa não foi suficiente para alterar as concentrações foliares, sendo os primeiros 24 meses período de menor concentração, aumentando as concentrações com o tempo, comportamento que também foi encontrado por Rocha et al. (2016). Condição que não era esperada dada à baixa disponibilidade deste nutriente, somando-se as características dos Latossolos utilizados, com elevada acidez e alto grau de intemperismo (TABELA 1) as respostas deveriam ser elevadas. Dessa forma as faixas

críticas estabelecidas na literatura não foram suficientes para determinar o nível crítico foliar para as condições de sítios estudadas.

Ainda não alterando as concentrações foliares, a aplicação de fosfato solúvel possibilitou crescimento em DAP e altura visível no campo no período inicial, reforçando a função de acelerador do crescimento inicial (Dias et al., 2017). Porém, com o passar do tempo os tratamentos foram se igualando em crescimento, sugerindo que as árvores começaram a absorver o FNR após esse período inicial e que essa seja uma possível fonte a médio prazo no fornecimento desse nutriente, além das fontes solúveis.

K - No sítio de Jaguariaíva aos 6 meses todos os tratamentos do experimento K mantiveram valores entre 9 e 10 g kg⁻¹, considerados adequados para Silveira et al. (2000) e Gonçalves et al. (2011) (APÊNDICE 3). Após esse período apenas os tratamentos fertilizados com 280 kg ha⁻¹ tiveram valores considerados adequados para Gonçalves (2011). Em Ventania na média das concentrações de K aos 24 e 36 meses ficaram como adequado para Gonçalves (2011). Mesmo no sítio de Ventania com teores superiores a Jaguariaíva, estes não foram suficientes para atingir o nível adequado para Silveira et al. (2000). Essa faixa crítica proposta por Silveira et al. (2000) provavelmente esteja elevada para as condições locais, visto que outros trabalhos com teores foliares entre 5,00 a 8,50 g kg⁻¹ obtiveram bons crescimentos para *Eucalyptus urograndis* (Jesus et al., 2012; Silva et al., 2013).

Os níveis críticos de K para algumas espécies de *Eucalyptus* plantadas no Brasil devem ser melhor estudadas. Talvez os teores indicados nos manuais estejam elevados, ou são para condições climáticas tropicais ou com restrições hídricas (Biagiotti et al., 2017).

O sintoma foliar de deficiência de K foi observado a partir do sexto mês na ausência do elemento em Jaguariaíva, apresentando concentração 3,1; 4,7 e 4,0 g kg⁻¹ aos 12, 24 e 36 meses, respectivamente. Assim, valores entre 3 e 4 g kg⁻¹ representem o limite inferior para ocorrência de deficiência. Ainda, a análise apenas visual do sintoma de deficiência K, talvez não seja o mais indicado, pois esse se manifesta em concentrações muito baixas, e o efeito prejudicial no crescimento seja mais lento que o aparecimento do sintoma, pois somente a partir do 24º mês houve decréscimo no crescimento (CAPÍTULO 1).

Isso, se torna importante pelo aumento da exigência de K à medida que aumenta a idade do reflorestamento (Battie-Laclau et al., 2014). E esse K requerido, parte pode vir da retranslocação interna, na taxa entre 40 a 75 % (Laclau et al., 2010). Mas, quando o solo e a planta se encontram em níveis baixos de K, a mesma não manteve as concentrações iguais ao das doses mais altas. Assim, explica-se o início da resposta a aplicação do K após 24 meses. E com essa alta retranslocação interna ocorre uma leve diminuição do K nas folhas, condizendo com os resultados encontrados por Rocha et al. (2016). Portanto, é importante definir níveis de deficiência em condições locais, pois mesmo sob deficiência a planta demorou a reduzir o crescimento, e mesmo com teores abaixo do adequado segundo a literatura o eucalipto em ambos os locais tiveram ótimo crescimento até o momento ($65 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$).

3.6.2 Variação temporal dos macros, micronutrientes e outros elementos no tecido foliar

Os teores de cálcio nas folhas nos dois sítios aos 12, 24 e 36 meses estão faixa do nível adequado para Gonçalves (2011), enquanto para Silveira et al. (2000) aos 12 e 24 estão adequados e pela redução na concentração aos 36 meses as folhas foram consideradas deficientes (APÊNDICE 4). A diminuição dos teores foliares era esperada, pois a maioria do Ca não é transportado para as folhas, mas requerida para a formação do tronco e da casca da árvore (Laclau et al., 2000; Hawkesford et al., 2012).

O magnésio esteve em nível adequado para Silveira et al. (2000) e Gonçalves (2011) no 12º e 24º mês e acima da faixa aos 36 meses, em todos os sítios avaliados (APÊNDICE 5). Destaca-se a importância da calagem no fornecimento Ca e Mg em solos deficientes e ácidos (Rocha et al., 2008), visto os níveis do solo serem muito baixo. Pode-se observar que os teores foliares foram aumentando com o tempo e seja um dos órgãos que mais acumula esse nutriente, devido as suas funções enzimáticas e estruturais na clorofila (Laclau et al., 2000; Hawkesford et al., 2012).

Em relação às concentrações dos principais micronutrientes e outros elementos avaliados, foi possível observar na literatura que a maioria da sequência encontrada é $\text{Mn} > \text{Fe} > \text{B} > \text{Zn} > \text{Cu}$ (Silveira et al., 2000; Albaugh et al., 2015). Enquanto que no

presente trabalho a sequência encontrada foi $Mn > B > Fe > Zn > Cu$, sequência que se altera, provavelmente, devido à adubação com ácido bórico. Elevados valores de B sugere que possa diminuir a dose utilizada na adubação ou mesmo parcelar, evitando com isso níveis tão elevados. Porém aos 24 meses a sequência se altera para $Mn > Fe > B \geq Zn > Cu$, mantendo o padrão da literatura.

A separação dos micronutrientes e outros elementos com base na concentração, maior que 100; entre 10 e 5; 5 e 1; e menores que 1 $mg\ kg^{-1}$, foi variável de acordo com a idade da planta e o sítio florestal. Sendo que o Mn sempre esteve acima dos 100 $mg\ kg^{-1}$ nas diferentes idades avaliadas, valores observados também por Jesus et al. (2012) com idade de 2,5 anos e Albaugh et al. (2015) entre 0 a 3 anos. Enquanto para o Fe e B as concentrações variaram entre maiores ou menores que 100 $mg\ kg^{-1}$, sendo influenciada pela idade da planta, quanto mais velha, menor foi a concentração observada. Tal fato, indica um provável efeito de diluição, devido ao incremento máximo da área foliar até o 36º mês (Melo et al., 2016). Efeito contrário ocorreu com Zn e Cu que com o passar do tempo atingiram 10 a 50 $mg\ kg^{-1}$ e 1 a 10 $mg\ kg^{-1}$, respectivamente.

Em relação ao teor de Cu nas folhas em todos os experimentos estavam em nível considerado baixo, menor que 5,0 $mg\ kg^{-1}$ aos 12, 24 e 36 meses e sítios (APÊNDICE 7). Condição esperada em solos extremamente intemperizados desenvolvidos sob rochas areníticas. Embora o crescimento observado seja elevado e não tenha sintoma aparente de carência de Cu, recomenda-se com base nos dados, a adubação de base do mesmo. Diferentemente o Zn ficou mais próximo do limite de deficiência de 7 $mg\ kg^{-1}$ aos 12 meses e elevando sua concentração a níveis adequados a partir do 24º mês (APÊNDICE 10). O Ferro ficou dentro do considerado adequado de 63 a 200 $mg\ kg^{-1}$ (Silveira et al., 2000; Gonçalves, 2011) (APÊNDICE 8).

Os valores de B na idade de um ano, ficaram 4 vezes acima da faixa de 30 a 50 $mg\ kg^{-1}$, proposto por Silveira et al., (2000) sugerindo uma rápida disponibilização de B em curto período e decréscimo com tempo (APÊNDICE 6). Indicando a necessidade de diminuição da dose aplicada e parcelamento, embora nenhum sintoma de toxidez tenha sido observado. O baixo efeito residual devido, alta capacidade de lixiviação de B, esteja relacionado com o rápido decréscimo após aplicação.

A concentração de Mn obtida na primeira avaliação ficou acima do limite máximo do considerado adequado (840 mg kg^{-1}) por Gonçalves (2011) e Silveira (APÊNDICE 9). Mas dentro do valor estabelecido por Dell et al., (2002), que vai até 2200 mg kg^{-1} . Os valores podem ser considerados normais visto que não manifestou sintoma aparente de toxidez de Mn e o crescimento foi adequado (CAPÍTULO 1). Reforçando a indicação de normalidade, Harguindeguy et al. (2018) constatou valores entre 300 a 5083 mg kg^{-1} nas folhas de mudas de eucalipto desenvolvido sobre condição controlada de oxigenação e disponibilidade de Mn, sem que fosse possível associar esta variação com crescimento dos dois clones estudados.

Esta elevada concentração de Mn pode ser explicada pelo baixo pH do solo e pela decomposição da serapilheira do pinus (Schumacher & Viera, 2010). Onde estes fatores aumentam a disponibilidade de Mn no solo, além do efeito da solubilização causada pelos ácidos orgânicos da matéria orgânica, evidenciado pela maior concentração de Mn no sítio Ventania, sítio em que todo material pós colheita permaneceu no local. Assim como para Mn, o Al apresentou concentração elevada e pode ser associada a elevada acidez e abundância da forma disponível, $\text{m\%} > 80\%$, reforçando a visão geral de grande resistência do eucalipto a acidez (Rocha et al., 2008).

3.6.3 Teste de deficiência de potássio

Pode-se observar no teste de deficiência de potássio que as análises foliares não foram sensíveis para indicar a deficiência do K, pois mesmo com sinais severos do sintoma de deficiência os teores foliares foram semelhantes estatisticamente as folhas sem sintomas, com variação de apenas 5 % entre elas. Essa informação vem a reforçar que teores foliares de K, dependendo do sítio podem não ser suficientes para interpretar a deficiência do nutriente (Silva et al., 2013; Battie-Laclau et al., 2014; Albaugh et al., 2015).

Outro comportamento notado em plantas deficientes de potássio foi a diminuição da vida útil das folhas, menor área foliar e os sintomas nas folhas proximais ao tronco, corroborando com Laclau et al. (2009).

3.7 CONCLUSÃO

Os nutrientes aplicados N e P não tiveram efeito nas concentrações foliares ao longo de 36 meses. A aplicação do K alterou as concentrações foliares aos 24 e 36 meses, porém aos 12 meses mesmo com sintoma foliar não houve mudança na concentração.

As faixas críticas encontradas na literatura para o N, P e K não foram suficientes para determinar o nível crítico desses elementos, sendo na maioria das vezes valores superestimados para a condição de estudo.

O teste de deficiência de potássio indicou a pouca relação entre sintoma de deficiência de potássio e os teores foliares.

O efeito tempo é fator importante na determinação da concentração dos elementos, sendo assim, fundamental determinar a idade para estabelecer as faixas críticas.

Por fim pode-se afirmar que o *E. urograndis* é tolerante ao Al e Mn, mesmo em concentrações foliares elevadas obtiveram bom crescimento.

REFERÊNCIAS

ALBAUGH, T. J.; RUBILAR, R. A.; FOX, T. R.; ALLEN, H. L.; URREGO, J. B.; ZAPATA, M.; STAPE, J. L. Response of *Eucalyptus grandis* in Colombia to mid-rotation fertilization is dependent on site and rate but not frequency of application. *Forest Ecology and Management*, 350:30 - 39, 2015.

ALVARES, C.A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22:711 - 728, 2013.

BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F. Nitrogen balance in soil under eucalyptus plantations. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36(4):1239 - 1248, 2012.

BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. Nutrição e adubação mineral do eucalipto. In: VALE, A. B.; MACHADO, C. C.; PIRES, J. M. M.; VILAR, M. B.; COSTA, C. B.; NACIF, A. P. (eds.). *Eucaliptocultura no Brasil: silvicultura, manejo e ambiência*, Sociedade de Investigações Florestais, 187 - 208, 2014, 551 p.

BATTIE-LACLAU, P.; LACLAU, J. P.; DOMECH, J.C.; CHRISTINA, M.; BOUILLET, J. P.; DE CASSIA PICCOLO, M.; GONÇALVES, J. L. DE M.; MOREIRA, R. M.; KRUSCHE, A. V.; NOUVELLON, Y. Effects of potassium and sodium supply on drought-adaptive mechanisms in *Eucalyptus grandis* plantations: implications under a drier future climate. *New Phytol*, 203(2):401 - 413, 2014.

BIAGIOTTI, G.; VALERI, S. V.; CRUZ, M. C. P.; VASCONCELOS, R. T. Potassium fertilization in plantation of *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Jonhson. *Scientia Forestalis*, 45(113): 129 - 137, 2017.

BODZIAK, J. R. C.; MAACK, R. Contribuição ao Conhecimento dos Solos dos Campos Gerais no Estado do Paraná. *Braz. arch. biol. technol.*, Curitiba, v. jubilee, 127-163, 2001.

DELL, B.; MALAJCZUK, N.; XU, D.; GROVE, T. S. Nutrient disorders in plantation eucalypts. *Camberra: ACIAR*, 2 ed., 2002. 188 p.

DIAS, L. P. R.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; ARRUDA, B.; COSTA, M. M. Distribution and morphology of root system of *Eucalyptus dunnii* in response to phosphorus fertilization. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 16(3):203 - 213, 2017.

DIAS, L. P. R.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; SIMONETE, M. A.; BICARATTO, B. Eficiência relativa de fosfatos naturais na adubação de plantio de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden e *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage em solo sem e com calagem. *Ciência Florestal*, 25(1):37 - 48, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2 ed. Brasília: Informação Tecnológica, 2009, 628 p.

FARIA, G. E.; BARROS, N. F.; CUNHA, V. L. P.; MARTINS, I. S.; MARTINS, R. C. C. Avaliação da produtividade, conteúdo e eficiência de utilização de nutrientes em genótipos de *Eucalyptus* spp. no Vale do Jequitinhonha, MG. *Ciência Florestal*, 18(3):363 - 373, 2008.

FERNANDES, L. V. Normas e determinação de faixas de suficiência para a diagnose foliar com base no crescimento relativo de eucalipto. 2010. (Dissertação Mestrado). Viçosa, MG, UFV, 97f.

GONÇALVES, J. L. M. Fertilização de plantação de eucalipto. In: GONÇALVES, J. L. M.; PULITO, A. P.; ARTHUR JÚNIOR, SILVA, L. D. (Eds.). In: Encontro Brasileiro de Silvicultura, 2011, Piracicaba, Anais, Piracicaba: PTSM/IPEF/ESALQ/FUPEF, p. 85-114, 2011.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; LACLAU, J. P.; SMETHURST, P.; GAVA, J. L. Silvicultural effects on the productivity and wood quality of eucalypt plantations. *Forest Ecology and Management*, 193:45 - 61, 2004.

HARGUINDEGUY, I.; CASTRO, G. F.; NOVAIS, S.V.; VERGUTZ, L.; ARAUJO, W. L.; NOVAIS, R. F. Physiological responses to hypoxia and manganese in *Eucalyptus* clones with differential tolerance to Vale do Rio Doce shoot dieback. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 42, 2018.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MOLLER, I.S. & WHITE, P. Functions of macronutrients. In: MARSCHNER, P., ed. Mineral nutrition of higher plants, 3.ed. New York, Elsevier, 2012, p.135-189.

JESUS, G. L.; BARROS, N. F.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; HENRIQUES, E. P.; LIMA, V. C.; FERNANDES, L. V. S.; EMANUELLE, M. B. Doses e fontes de nitrogênio na produtividade do eucalipto e nas frações da matéria orgânica em solo da região do cerrado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 36(1):201 - 214, 2012.

LACLAU, J. P.; ALMEIDA, J. C. R.; GONÇALVES, J. L. M.; SAINT-ANDRÉ, L.; VENTURA, M.; RANGER, J.; MOREIRA, R. M.; NOUVELLON, Y. Influence of nitrogen and potassium fertilization on leaf lifespan and allocation of above-ground growth in *Eucalyptus* plantations. *Tree Physiology*, 29:111 - 124, 2009.

LACLAU, J. P.; BOUILLET, J. P.; RANGER, J. Dynamics of biomass and nutrient accumulation in a clonal plantation of *Eucalyptus* in Congo. *Forest Ecology and Management*, 128:181 - 196. 2000.

LACLAU, J. P.; RANGER, J.; GONCALVES, J. L. D.; MAQUERE, V.; KRUSCHE, A. V.; M'BOU, A. T.; NOUVELLON, Y.; SAINT-ANDRÉ, L.; BOUILLET, J. P.; PICCOLO, M. C.; DELEPORTE, P. Biogeochemical cycles of nutrients in tropical *Eucalyptus* plantations main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. *Forest Ecology and Management*, 259:1771 - 1785, 2010.

MARTINS, A. P. L.; REISSMANN, C. B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. *Scientia Agraria*, Curitiba, 8(1):1 - 17, 2007.

MELO, E. A. S. C.; GONÇALVES, J. L. M.; ROCHA, J. H. T., HAKAMADA, R. E.; BAZANI, J. H.; WENZEL, A. V. A.; ARTHUR JUNIOR, J. C.; BORGES, J. S.; MALHEIROS, R.; LEMOS, C. C. Z.; FERREIRA, E. V. O.; FERRAZ, A. V. Responses of clonal eucalypt plantations to N, P and K fertilizer application in different edaphoclimatic conditions. *Forests*, 7(1):1 - 10, 2016.

MILLNER, J. P.; KEMP, P. D. Foliar nutrients in *Eucalyptus* species in New Zealand. *New Forest*, 43:255 - 266, 2012.

PIOVESAN, G.; SCHUMACHER, M. V.; VIEIRA, M.; LOPES, V. G.; WELTER, C. Deposição de serapilheira em povoamento de pinus. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 42(2): 206 - 211, 2012.

PULITO, A. P.; GONÇALVES, J. H. T.; SMETHURST, P. J.; ARTHUR JUNIOR, J. C.; ALVARES, C. A.; ROCHA, J. H. T.; HUBNER, A.; MORAES, L. F.; MIRANDA, A. C.; KAMOGAWA, M. Y.; GAVA, J. L.; CHAVES, R.; SILVA, C. R. Available nitrogen and responses to nitrogen fertilizer in brazilian eucalypt plantations on soils of contrasting texture. *Forests*, 6(4):973 - 991, 2015.

ROCHA, J. B. O.; POZZA, A. A. A.; CARVALHO, J. G.; SILVA, C. A.; CURI, N. Efeito da calagem na nutrição mineral e no crescimento inicial do eucalipto a campo em Latossolo húmico da Zona da Mata. *Scientia Forestalis*, 36(80):255-263, 2008.

ROCHA, J. H. T.; GONÇALVES, J. L. M.; GAVA, J. L.; GODINHO, T. O.; MELO, E. A.; BAZANI, J. H.; HUBNER, A.; ARTHUR JUNIOR, J. C.; WICHERT, M. P. Forest residue maintenance increased the wood productivity of a *Eucalyptus* plantation over two short rotations. *Forest Ecology and Management*, 379:1 - 10, 2016.

ROS, C. O.; PERRANDO, E. R.; SOMAVILLA, L.; ENGEL, K.; PREDIGE, D. M. S. A.; SILVA, R. F.; SILVA, V. R. Initial growth of mixed stands of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden and *Toona ciliata* M. Roem var. *australis* with suppression of primary macronutrients. *Scientia Forestalis*, 44:769 – 777, 2016.

SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; LIBARDI, P. L.; GONÇALVES, A. N. Fertilizer management of eucalypt plantations on sandy soil in Brazil: initial growth and nutrient cycling. *Forest Ecology and Management*, 301:67 – 71, 2013.

SILVEIRA, R. L. V. A.; HIGASHI, E. N.; GONÇALVES, A. N.; MOREIRA, A. Avaliação do estado nutricional de *Eucalyptus*: Diagnose visual, foliar e suas interpretações. In: GONÇALVES, A. N.; BENEDETTI, V. (eds). *Nutrição e fertilização florestal*. Piracicaba: IPEF, 2000. 427 p.

STAHL, J.; ERNANI, P. R.; GATIBONI, L. C.; CHAVES, D. M.; NEVES, C. U. Produção de massa seca e eficiência nutricional de clones de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* em função da adição de doses de fósforo ao solo. *Ciência Florestal*, 23(2):287 - 295, 2013.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V. Teores e aporte de nutrientes na serapilheira de *Pinus taeda* L., e sua relação com a temperatura do ar e pluviosidade. *Revista Árvore*, 34(1):85 - 94, 2010.

4 CONCLUSÃO GERAL

O monitoramento do crescimento e composição elementar foliar realizado ao longo dos 36 meses nos plantios de *Eucalyptus urograndis* resultou no conhecimento do comportamento da espécie em condições subtropicais e solos tradicionalmente florestais. Foi possível observar que o efeito local do sítio altera alguns valores de crescimento e composição elementar.

Primeiramente avaliando a aplicação do nitrogênio, os dados levantados demonstraram que a matéria orgânica do solo e a serapilheira quando em níveis adequados, podem ser suficientes para atender a demanda do eucalipto. Mesmo com a alta disponibilidade de N aplicada via fertilizantes não resultou em alterações na composição foliar. Isso reforça a ideia do uso racional do N para evitar a perda do nutriente na condição estudada de pouco teor de argila.

O monitoramento do crescimento inicial em função da aplicação de fósforo indica grande efeito do fosfato solúvel no arranque do eucalipto. Porém a solubilização gradativa do FNR garante o fornecimento de P e o crescimento da planta. E nas condições dos sítios estudados isso não poderia ser diagnosticado visualmente pelo sintoma foliar e também apresentaria limitação pelo diagnóstico do nível crítico. Visto as concentrações foliares de P das plantas de baixo crescimento serem semelhantes as plantas de alto crescimento. Dessa forma tanto a avaliação do crescimento, como nutricional, são importantes para o correto manejo nutricional do eucalipto.

A aplicação de potássio resultou em alterações no crescimento somente após o 24º mês, mesmo momento que as concentrações foliares de K, no sítio de Jaguariaíva. Contudo o sintoma na folha já era notado antes dos 12 meses neste sítio. Porém o sintoma é manifestação final da deficiência, dessa forma níveis críticos locais devem ser desenvolvidos para melhor diagnosticar as árvores, e evitar perdas de crescimento com o tempo. Embora ambos os sítios apresentavam baixos níveis de K no solo, Ventania apresentava maior concentração foliar o que refletiu na ausência de resposta no crescimento, tal fato indica que outros parâmetros influenciaram na absorção do mesmo. Da mesma maneira que o fósforo, o nível crítico do potássio também poderia levar a interpretações errôneas, uma vez que os níveis considerados na literatura superestimam as concentrações.

E por fim destaca-se as alterações nas concentrações foliares ao longo tempo, podendo separar em nutrientes que apresentam a tendência de diminuição, como P e Ca, o grupo que aumenta como K e Mg, e o estável como N. Dentre os micronutrientes o grupo que reduz são Mn, Fe, B e Cu, e o Zn aumenta. Os elementos Mn e Al apresentavam concentrações elevadas, devido à acidez e reduziram expressivamente suas concentrações com o tempo.

REFERÊNCIAS

- ALBAUGH, T. J.; RUBILAR, R. A.; FOX, T. R.; ALLEN, H. L.; URREGO, J. B.; ZAPATA, M.; STAPE, J. L. Response of *Eucalyptus grandis* in Colombia to mid-rotation fertilization is dependent on site and rate but not frequency of application. *Forest Ecology and Management*, 350:30 - 39, 2015.
- ALMEIDA, J. C. R.; LACLAU, J. P.; GONCALVES, J. L. D.; RANGER, J.; SAINT-ANDRE, L. A positive growth response to NaCl applications in *Eucalyptus* plantations established on K-deficient soils. *Forest Ecology and Management*, 259:1786–1795, 2010.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22:711-728, 2013.
- BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F. Nitrogen balance in soil under eucalyptus plantations. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36:1239-1248, 2012.
- BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMARODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F.; ALVES, B. J. R.; FONSECA, S. Mineralização de nitrogênio e carbono em solos sob plantações de eucalipto, em uma sequência de idades. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:735- 745, 2010.
- BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. Fertilidade de solos, nutrientes e produção florestal. *Revista Visão Agrícola*, 4:76-79, 2005.
- BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. Nutrição e adubação mineral do eucalipto. In: VALE, A. B.; MACHADO, C. C.; PIRES, J. M. M.; VILAR, M. B.; COSTA, C. B.; NACIF, A. P. (eds.). *Eucaliptocultura no Brasil: silvicultura, manejo e ambiência*. Viçosa - MG: Sociedade de Investigações Florestais - SIF. p. 187-208, 2014.
- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil. In: ATTIWILL, P.M; ADAMS, M.A., eds. *Nutrition of eucalypts*. Collingwood, CISRO, 1996, p.335-356.
- BATTIE-LACLAU, P.; LACLAU, J. P.; DOMECH, J.C.; CHRISTINA, M.; BOUILLET, J. P.; DE CASSIA PICCOLO, M.; GONÇALVES, J. L. DE M.; MOREIRA, R. M.; KRUSCHE, A. V.; NOUVELLON, Y. Effects of potassium and sodium supply on

drought-adaptive mechanisms in *Eucalyptus grandis* plantations: implications under a drier future climate. *New Phytol*, 203(2):401 - 413, 2014.

BIAGIOTTI, G.; VALERI, S. V.; CRUZ, M. C. P.; VASCONCELOS, R. T. Potassium fertilization in plantation of *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Jonhson. *Scientia Forestalis*, 45(113): 129 - 137, 2017.

BIZON J. M. C. Avaliação da sustentabilidade nutricional de plantios de *Pinus taeda* L. usando um balanço de entrada e saída de nutrientes. 2005. (Dissertação de mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. ESALQ/USP Piracicaba, 96f.

BODZIAK, J. R. C.; MAACK, R. Contribuição ao Conhecimento dos Solos dos Campos Gerais no Estado do Paraná. *Braz. arch. biol. technol.*, Curitiba, v. jubilee, 127-163, 2001.

CAIONE, G.; FERNANDES, F. M.; LANGE, A. Efeito residual de fontes de fósforo nos atributos químicos do solo, nutrição e produtividade de biomassa da cana-de-açúcar. *Agrária*, 8:189-196, 2013.

DELL, B.; MALAJCZUK, N.; XU, D.; GROVE, T. S. Nutrient disorders in plantation eucalypts. *Camberra: ACIAR*, 2 ed., 2002. 188 p.

DIAS, L. P. R.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; ARRUDA, B.; COSTA, M. M. Distribution and morphology of root system of *Eucalyptus dunnii* in response to phosphorus fertilization. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 16(3):203 - 213, 2017.

DIAS, L. P. R.; GATIBONI, L. C.; ERNANI, P. R.; MIQUELLUTI, D. J.; CHAVES, D. M.; BRUNETTO, G. Substituição parcial de fosfato solúvel por natural na implantação de *Eucalyptus benthamii* e *Eucalyptus dunnii* no Planalto Sul catarinense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38:516-523, 2014.

DIAS, L. P. R; GATIBONI, L. C; BRUNETTO, G; SIMONETE, M. A; BICARATTO, B. Eficiência relativa de fosfatos naturais na adubação de plantio de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden e *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage em solo sem e com calagem. *Ciência Florestal*, 25:37-48, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2 ed. Brasília: Informação Tecnológica, 2009, 628 p.

FARIA, G. E.; BARROS, N. F.; CUNHA, V. L. P.; MARTINS, I. S.; MARTINS, R. C. C. Avaliação da produtividade, conteúdo e eficiência de utilização de nutrientes em genótipos de *Eucalyptus* spp. no Vale do Jequitinhonha, MG. *Ciência Florestal*, 18(3):363 - 373, 2008.

FARIA, G. E.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F; LIMA, J. C.; TEIXEIRA, J. L. Produção e estado nutricional de povoamentos de *Eucalyptus grandis*, em segunda rotação, em resposta à adubação potássica. *Revista Árvore*, 26:577-584, 2002.

FERNANDES, L. V. Normas e determinação de faixas de suficiência para a diagnose foliar com base no crescimento relativo de eucalipto. 2010. (Dissertação Mestrado). Viçosa, MG, UFV, 97f.

FERNANDEZ, J. Q. P.; DIAS, L. E.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; MORAES, E. J. Productivity of *Eucalyptus camaldulensis* affected by rate and placement of two phosphorus fertilizers to a Brazilian oxisol. *Forest Ecology and Management*, 127:93–102, 2000.

FIGUEIREDO-FILHO, A.; MACHADO, S. A.; MIRANDA, R. O. V.; RETSLAFF, F. Compêndio de equações de volume e de afilamento de espécies florestais plantadas e nativas para as regiões geográficas do Brasil. Editora UFV. 2014. 306 p.
FORRESTER, D. I.; COLLOPY, J. J.; BEADLE, C. L.; BAKER, T. G. Effect of thinning, pruning and nitrogen fertiliser application on light interception and light-use efficiency in a young *Eucalyptus nitens* plantation. *Forest Ecology and Management*, 288:21-30, 2013.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; SANTOS, G. A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:893-901, 2005.

GAVA, J. L. Efeito da adubação potássica em plantios de *E. grandis* conduzidos em segunda rotação em solos com diferentes teores de potássio trocável. *Série Técnica IPEF*, Piracicaba, 11:89-94, 1997.

GONÇALVES, J. L. M. Fertilização de plantação de eucalipto. In: GONÇALVES, J. L. M.; PULITO, A. P.; ARTHUR JÚNIOR, SILVA, L. D. (Eds.). In: Encontro Brasileiro de Silvicultura, 2011, Piracicaba, Anais, Piracicaba: PTSM/IPEF/ESALQ/FUPEF, p. 85-114, 2011.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; LACLAU, J. P.; SMETHURST, P.; GAVA, J. L. Silvicultural effects on the productivity and wood quality of eucalypt plantations. *Forest Ecology and Management*, 193:45 - 61, 2004.

HARGUINDEGUY, I.; CASTRO, G. F.; NOVAIS, S.V.; VERGUTZ, L.; ARAUJO, W. L.; NOVAIS, R. F. Physiological responses to hypoxia and manganese in *Eucalyptus* clones with differential tolerance to Vale do Rio Doce shoot dieback. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 42, 2018.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MOLLER, I.S. & WHITE, P. Functions of macronutrients. In: MARSCHNER, P., ed. *Mineral nutrition of higher plants*, 3.ed. New York, Elsevier, 2012, p.135-189.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MOLLER, I.S. & WHITE, P. Functions of macronutrients. In: MARSCHNER, P., ed. *Mineral nutrition of higher plants*, 3.ed. New York, Elsevier, 2012, p. 135-189.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). Relatório indústria brasileira de árvores. 2016. 100 p.

JESUS, G. L.; BARROS, N. F.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; HENRIQUES, E. P.; LIMA, V. C.; FERNANDES, L. V. S.; EMANUELLE, M. B. Doses e fontes de nitrogênio na produtividade do eucalipto e nas frações da matéria orgânica em solo da região do cerrado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 36(1):201 - 214, 2012.

LACLAU, J. P.; ALMEIDA, J. C. R.; GONÇALVES, J. L. M.; SAINT-ANDRÉ, L.; VENTURA, M.; RANGER, J.; MOREIRA, R. M.; NOUVELLON, Y. Influence of nitrogen and potassium fertilization on leaf lifespan and allocation of above-ground growth in *Eucalyptus* plantations. *Tree Physiology*, 29:111 - 124, 2009.

LACLAU, J. P.; BOUILLET, J. P.; RANGER, J. Dynamics of biomass and nutrient accumulation in a clonal plantation of *Eucalyptus* in Congo. *Forest Ecology and Management*, 128:181 - 196. 2000.

LACLAU, J. P.; RANGER, J.; GONCALVES, J. L. D.; MAQUERE, V.; KRUSCHE, A. V.; M'BOU, A. T.; NOUVELLON, Y.; SAINT-ANDRÉ, L.; BOUILLET, J. P.; PICCOLO, M. C.; DELEPORTE, P. Biogeochemical cycles of nutrients in tropical *Eucalyptus* plantations main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. *Forest Ecology and Management*, 259:1771 - 1785, 2010.

MAEDA, S.; BOGNOLA, I. A. Efeito da calagem, do fosfato natural de Gafsa e superfosfato triplo no crescimento inicial e na absorção de fósforo em *Eucalyptus dunnii*. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 31:355-361, 2011.

MAEDA, S.; BOGNOLA, I. A. Influência de calagem e adubação fosfatada no crescimento inicial de eucalipto e nos níveis críticos de P. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 32:401-407, 2012.

MARTINS, A. P. L.; REISSMANN, C. B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. *Scientia Agraria*, Curitiba, 8(1):1 - 17, 2007.

MELO, E. A. S. C.; GONÇALVES, J. L. M.; ROCHA, J. H. T., HAKAMADA, R. E.; BAZANI, J. H.; WENZEL, A. V. A.; ARTHUR JUNIOR, J. C.; BORGES, J. S.; MALHEIROS, R.; LEMOS, C. C. Z.; FERREIRA, E. V. O.; FERRAZ, A. V. Responses of clonal eucalypt plantations to N, P and K fertilizer application in different edaphoclimatic conditions. *Forests*, 7(1):1 - 10, 2016.

MEYER, H. A. Forest mensuration. State College PA. Pennsylvania, Penns Valley Publisher Inc. 1953. 357 p.

MILLNER, J. P.; KEMP, P. D. Foliar nutrients in *Eucalyptus* species in New Zealand. *New Forest*, 43:255 - 266, 2012.

MOTTA, A. C. V.; BARBOSA, J. Z.; CONSALTER, R.; REISSMANN, C. B. Nutrição e adubação da cultura do pinus. In: Renato de Mello Prado. (Org.). Nutrição e adubação de espécies florestais e palmeiras. 1ed. Jaboticabal: Gráfica e Editora Santa Terezinha, 2014, 1:383-425.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L.

(eds.) Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 471-537.

PIOVESAN, G.; SCHUMACHER, M. V.; VIEIRA, M.; LOPES, V. G.; WELTER, C. Deposição de serapilheira em povoamento de pinus. Pesquisa Agropecuária Tropical, 42(2): 206 - 211, 2012.

PULITO, A. P.; GONÇALVES, J. H. T.; SMETHURST, P. J.; ARTHUR JUNIOR, J. C.; ALVARES, C. A.; ROCHA, J. H. T.; HUBNER, A.; MORAES, L. F.; MIRANDA, A. C.; KAMOGAWA, M. Y.; GAVA, J. L.; CHAVES, R.; SILVA, C. R. Available nitrogen and responses to nitrogen fertilizer in brazilian eucalypt plantations on soils of contrasting texture. Forests, 6(4):973 - 991, 2015.

PULROLNIK, K.; BARROS, N. F.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BRANDANI, C. B. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no Vale do Jequitinhonha - MG. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 33:1125-1136, 2009.

ROCHA, J. B. O.; POZZA, A. A. A.; CARVALHO, J. G.; SILVA, C. A.; CURI, N. Efeito da calagem na nutrição mineral e no crescimento inicial do eucalipto a campo em Latossolo húmico da Zona da Mata. Scientia Forestalis, 36(80):255-263, 2008.

ROCHA, J. H. T.; GONÇALVES, J. L. M.; GAVA, J. L.; GODINHO, T. O.; MELO, E. A.; BAZANI, J. H.; HUBNER, A.; ARTHUR JUNIOR, J. C.; WICHERT, M. P. Forest residue maintenance increased the wood productivity of a *Eucalyptus* plantation over two short rotations. Forest Ecology and Management, 379:1 - 10, 2016.

ROCHA, J. H. T.; PIETRO, M. R.; BORELLI, K. B. C.; NEVES, M. B. Produção e desenvolvimento de mudas de eucalipto em função de doses de fósforo. Revista Cerne, 19:535-543, 2013.

ROS, C. O.; PERRANDO, E. R.; SOMAVILLA, L.; ENGEL, K.; PREDIGE, D. M. S. A.; SILVA, R. F.; SILVA, V. R. Initial growth of mixed stands of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden and *Toona ciliata* M. Roem var. *australis* with suppression of primary macronutrients. Scientia Forestalis, 44:769 - 777, 2016.

SAMPAIO, T. F.; DALCIN, T. E.; BOGIANI, J. C.; MORI, E. S.; GUERRINI, I. A. Selection of eucalyptus clones and adjustment of potassium doses for extended drought in Bahia Savanna. Revista Árvore, 40:1031-1039, 2016.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; LEITE, H. G.; COMERFORD, N. B. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32:2723-2733, 2008.

SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; LIBARDI, P. L.; GONÇALVES, A. N. Fertilizer management of eucalypt plantations on sandy soil in Brazil: initial growth and nutrient cycling. Forest Ecology and Management, 301:67 - 71, 2013.

SILVEIRA, R. L. V. A.; HIGASHI, E. N.; GONÇALVES, A. N.; MOREIRA, A. Avaliação do estado nutricional de *Eucalyptus*: Diagnose visual, foliar e suas interpretações. In:

GONÇALVES, A. N.; BENEDETTI, V. (eds). Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba: IPEF, 2000. 427 p.

SMETHURST, P.; HOLZA, G.; MORONIA, M.; BAILLIE, C. Nitrogen management in *Eucalyptus nitens* plantations. Forest Ecology and Management, 193:63-80, 2004.

SPURR, S. H. Forest inventory. New York. Ronald Press. 1952, 476 p.

STAHL, J. Resposta inicial de *Eucalyptus* spp. à adubação fosfatada e potássica no Planalto Sul Catarinense. 2009. (Dissertação de Mestrado), Centro de Ciências Agroveterinária, Universidade Estadual de Santa Catarina, Lages, 69f.

STAHL, J.; ERNANI, P. R.; GATIBONI, L. C.; CHAVES, D. M.; NEVES, C. U. Produção de massa seca e eficiência nutricional de clones de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* em função da adição de doses de fósforo ao solo. Ciência Florestal, 23:287-295, 2013.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; FONSECA, S.; LOOS, R. A.; TAKAHASHI, E. N.; SILVA, C. R.; SILVA, S.R.; HAKAMADA, R. E.; FERREIRA, J.M.D.; et al. The Brazil *Eucalyptus* potential productivity project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. Forest Ecology and Management, 259:1684-1694, 2010.

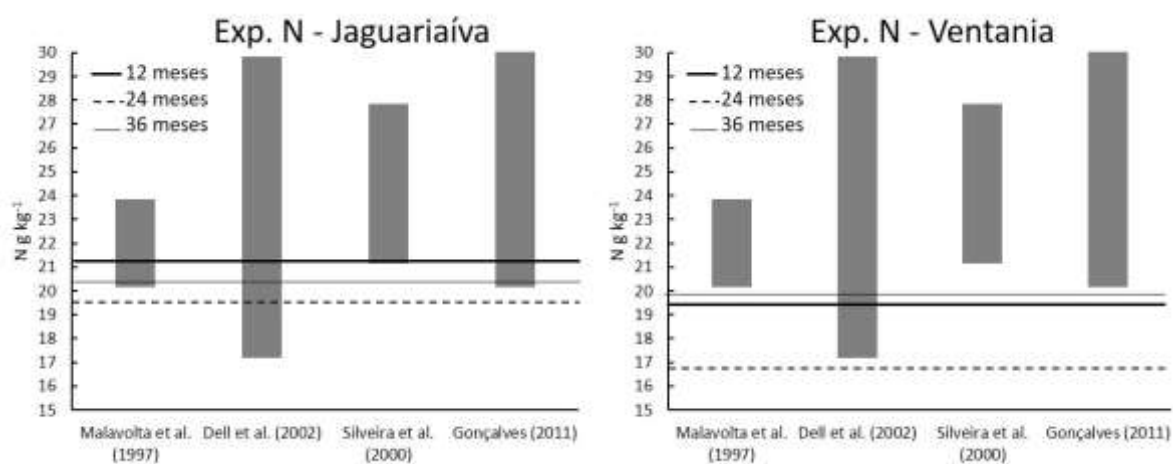
VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V. Teores e aporte de nutrientes na serapilheira de *Pinus taeda* L., e sua relação com a temperatura do ar e pluviosidade. Revista Árvore, 34(1):85 - 94, 2010.

XU, D.; DELL, B.; MALAJCZUK, N.; GONG, M. Effects of P fertilisation on productivity and nutrient accumulation in a *E. grandis* x *urophylla* plantation in southern China. Forest Ecology and Management, 161:89–100, 2002.

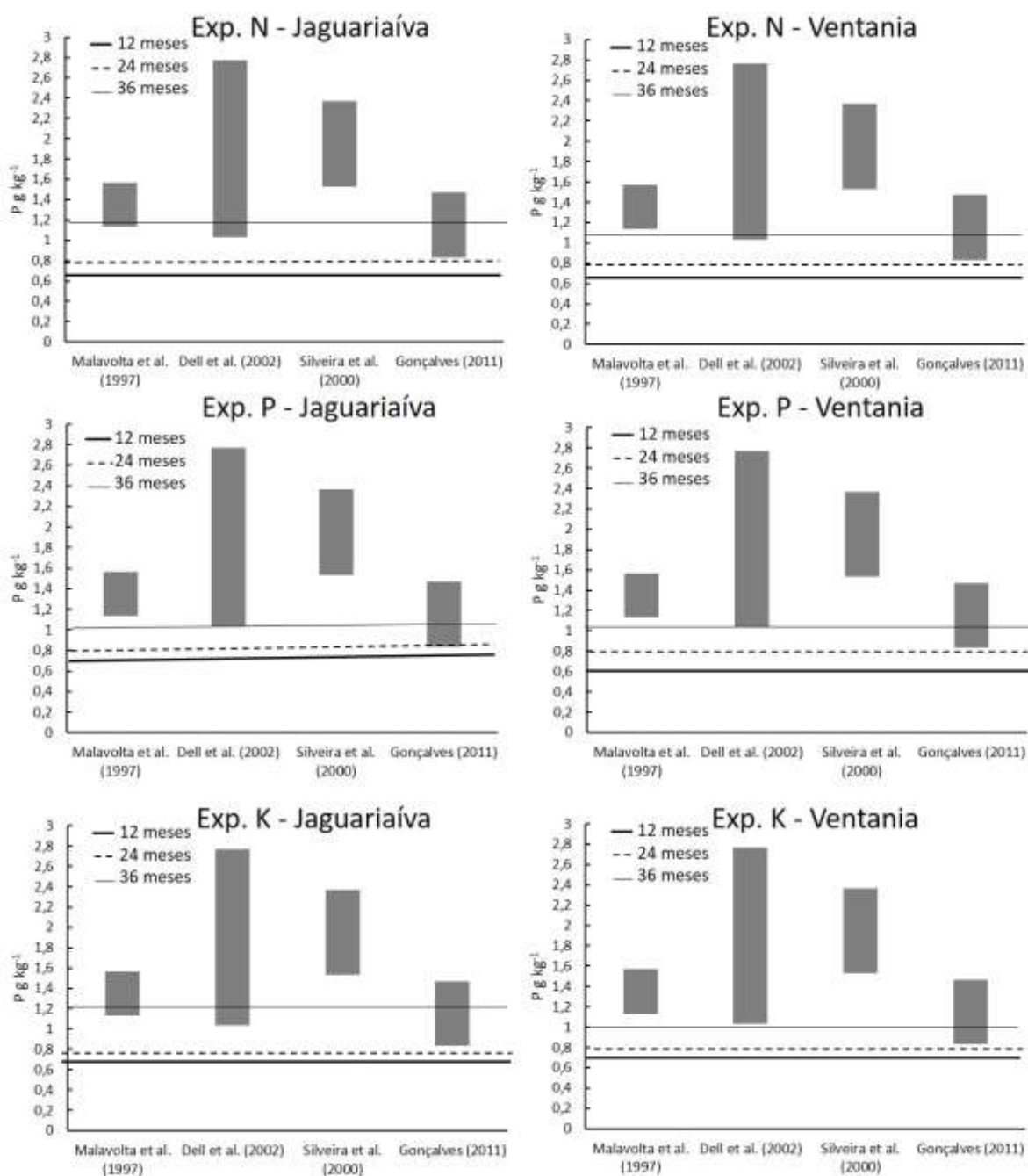
XU, D.; DELL, B.; YANG, Z.; MALAJCZUK, N.; GONG, M. Effects of phosphorus application on productivity and nutrient accumulation of a *Eucalyptus urophylla* plantation. Journal of Tropical Forest Science, 17:447–461, 2005.

APÊNDICES

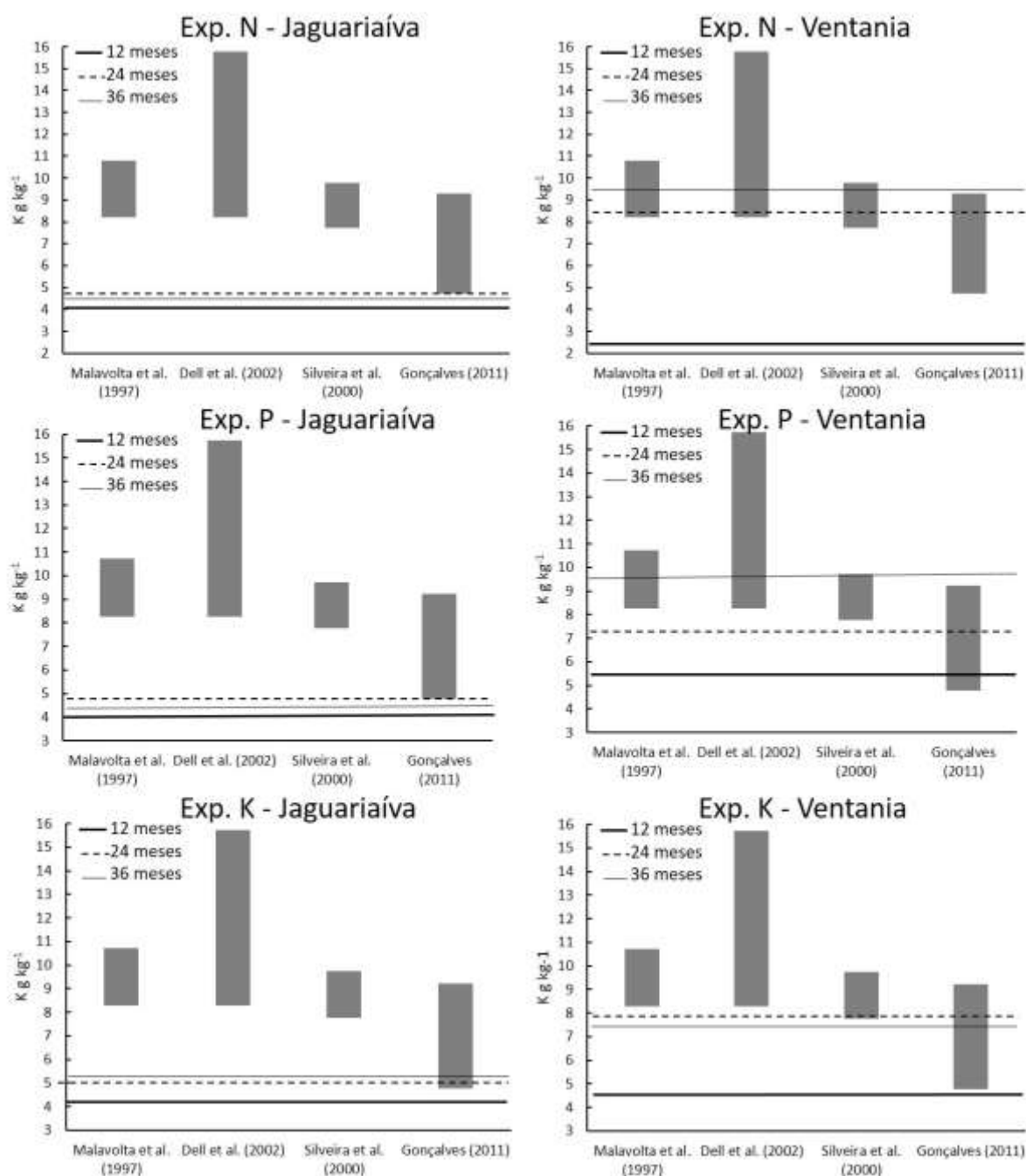
APÊNDICE 1. Comparação das concentrações foliares de N para os sítios Jaguariaíva e Ventania, PR, em relação as faixas críticas encontradas na literatura.



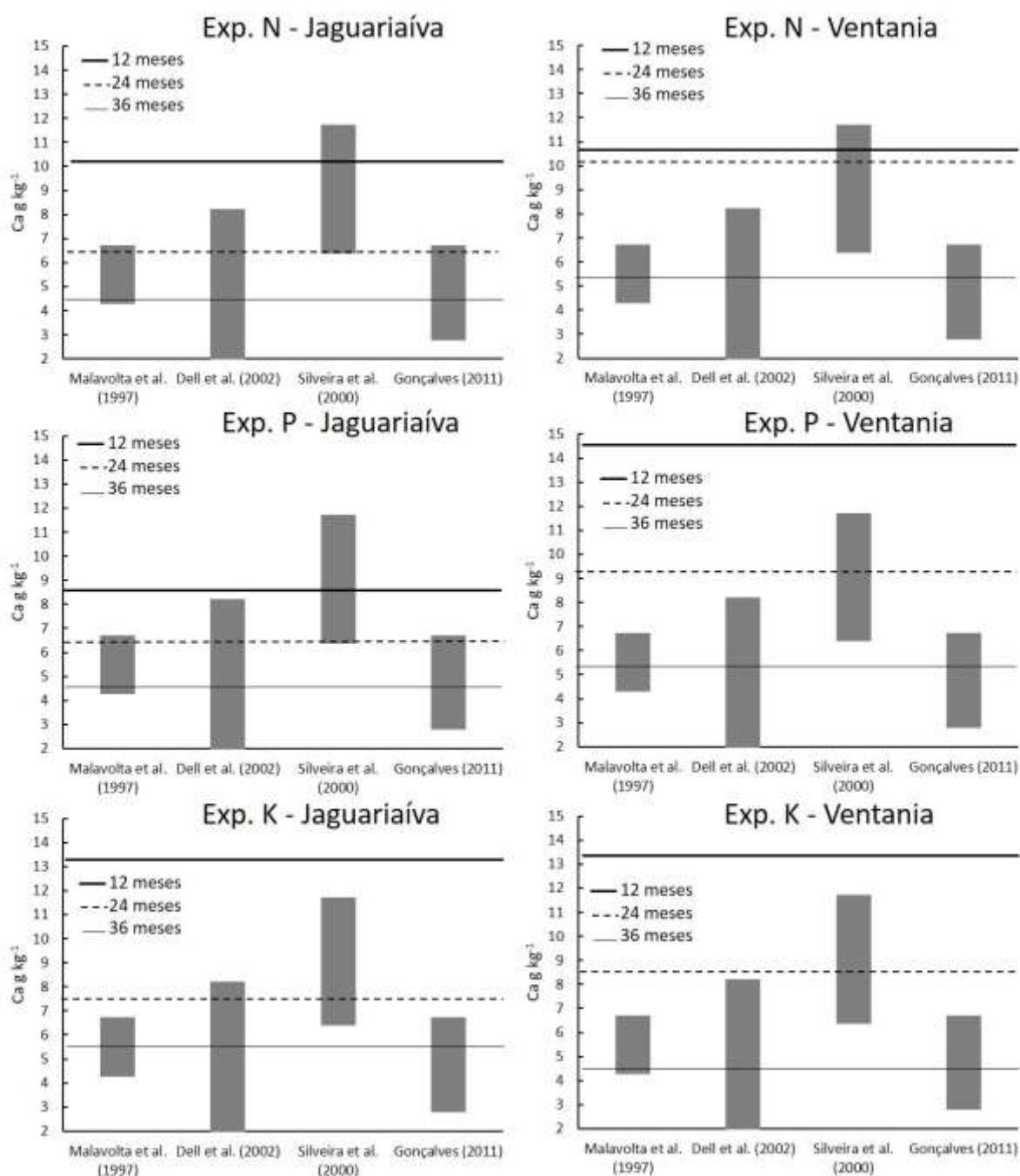
APÊNDICE 2. Comparação das concentrações foliares de P para os sítios Jaguariaíva e Ventania, PR, em relação as faixas críticas encontradas na literatura.



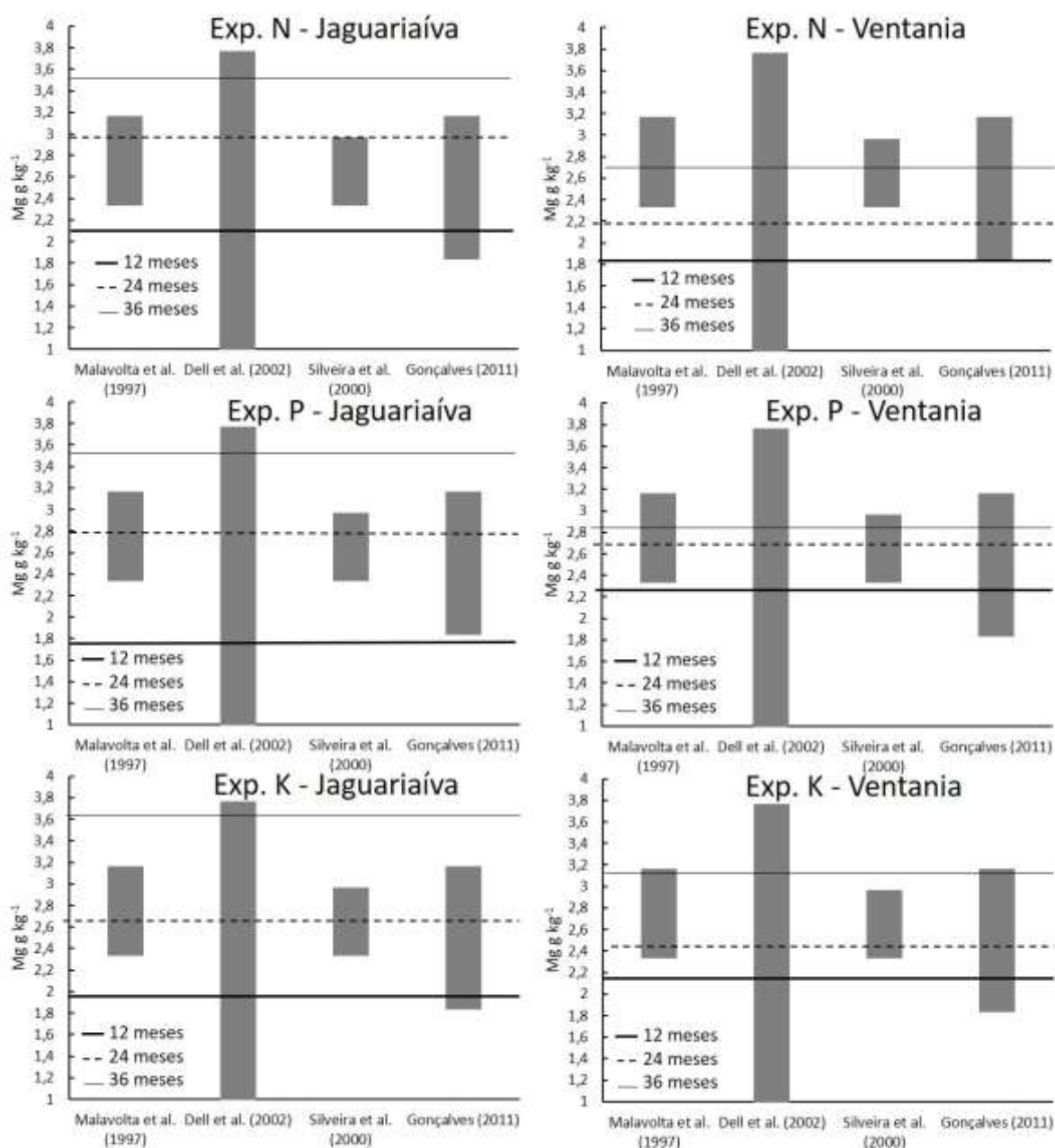
APÊNDICE 3. Comparação das concentrações foliares de K para os sítios Jaguariaíva e Ventania, PR, em relação as faixas críticas encontradas na literatura.



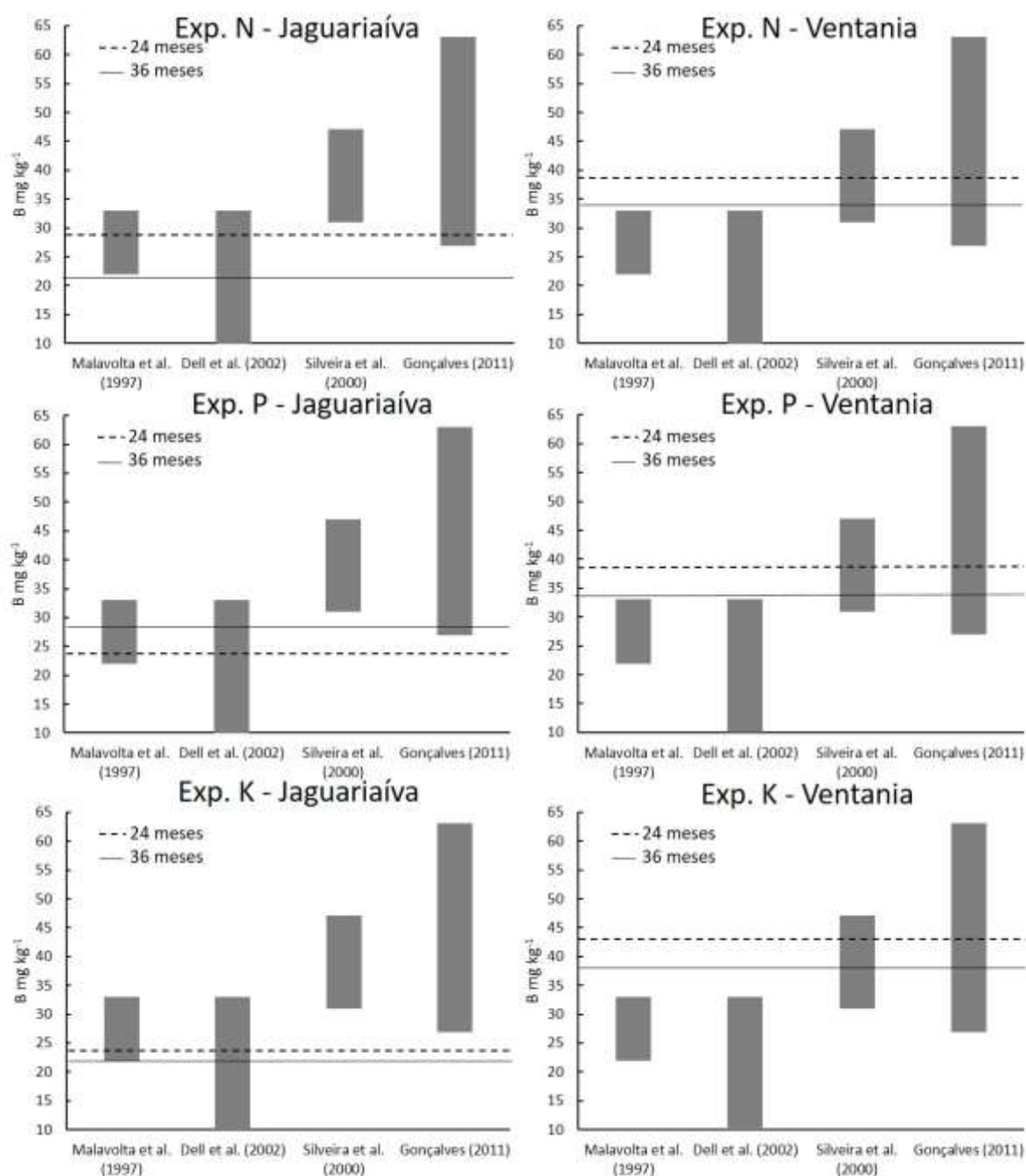
APÊNDICE 4. Comparação das concentrações foliares de Ca para os sítios Jaguariaíva e Ventania, PR, em relação as faixas críticas encontradas na literatura.



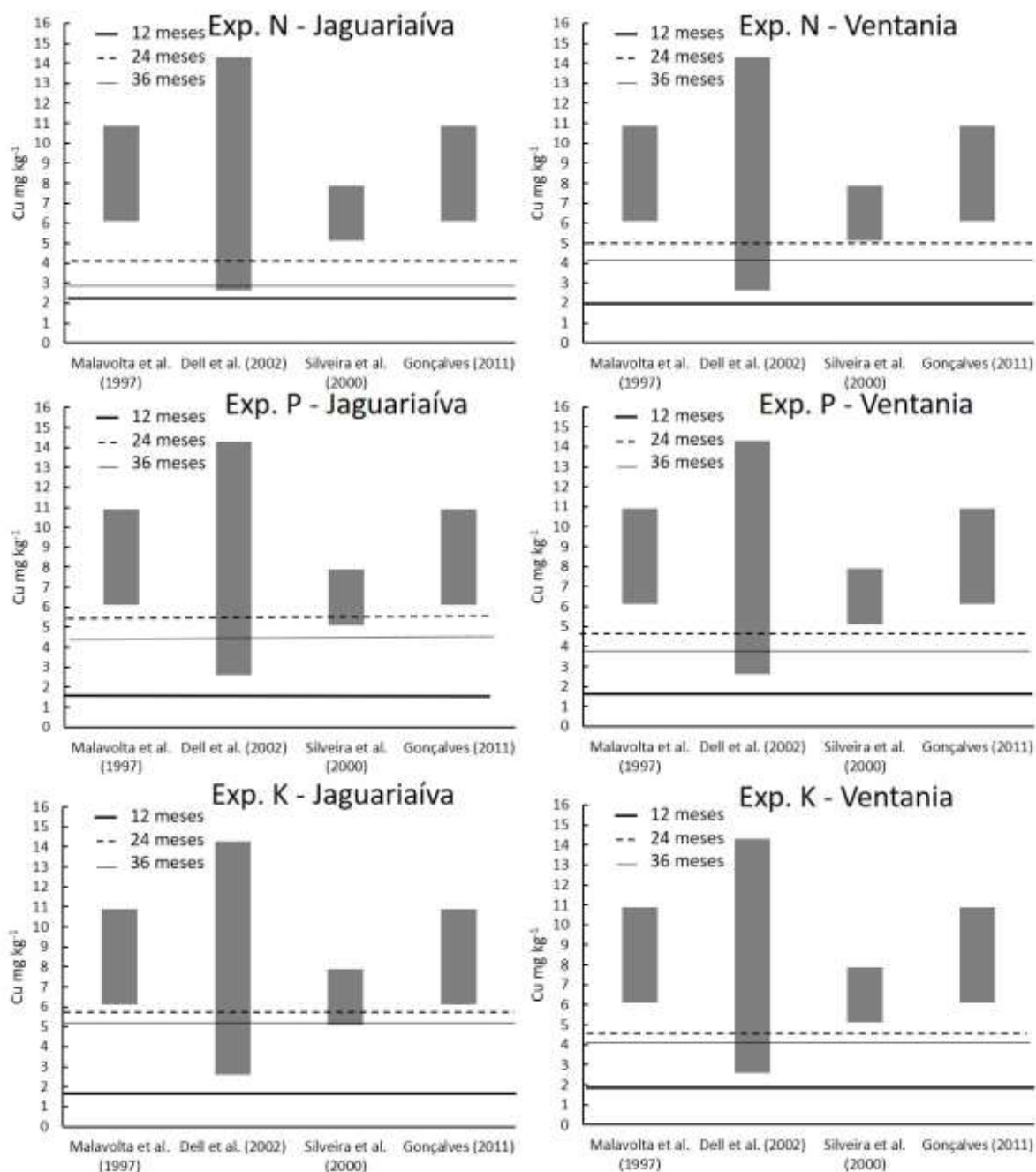
APÊNDICE 5. Comparação das concentrações foliares de Mg para os sítios Jaguariaíva e Ventania, PR, em relação as faixas críticas encontradas na literatura.



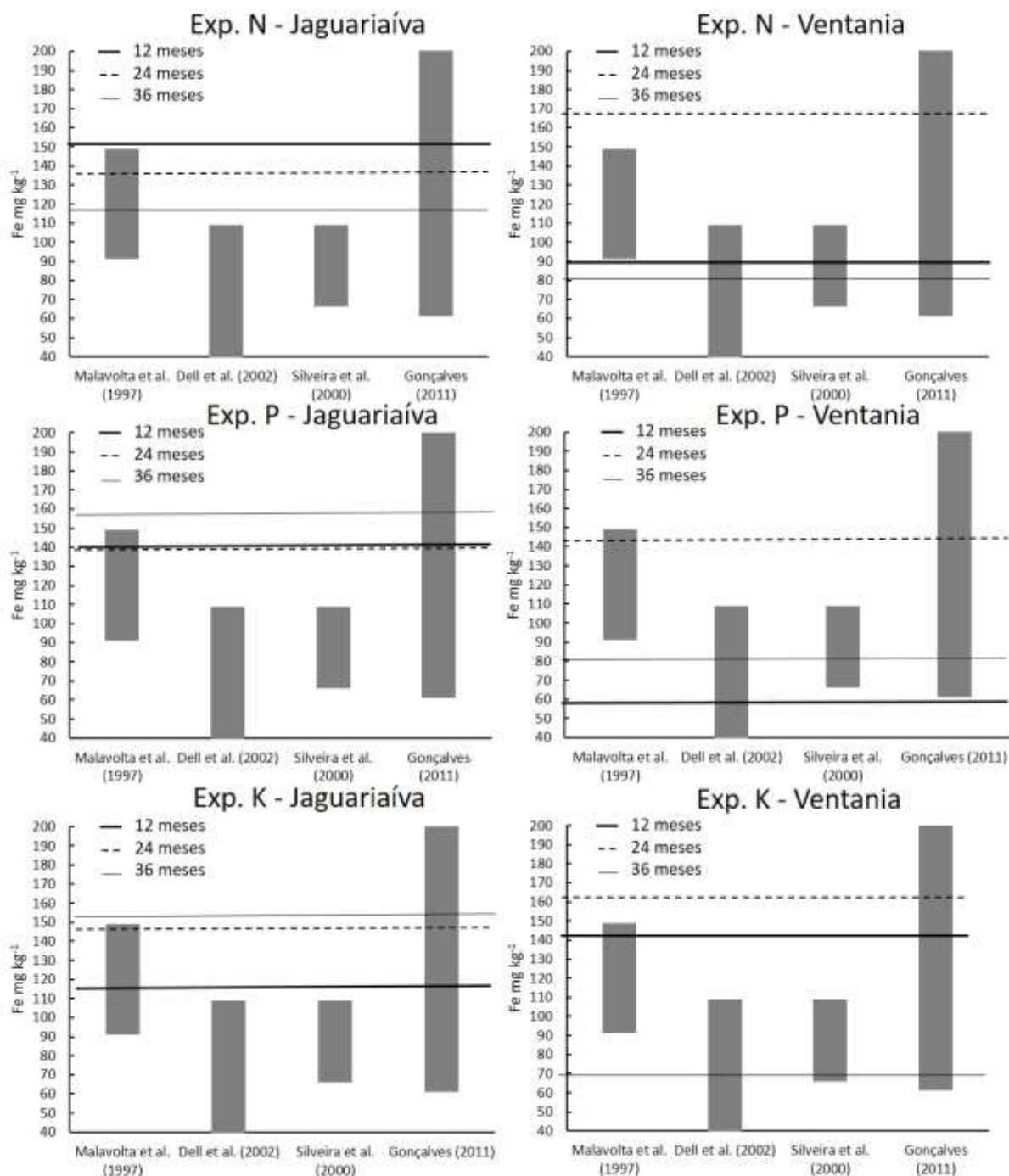
APÊNDICE 6. Comparação das concentrações foliares de B para os sítios Jaguariaíva e Ventania, PR, em relação as faixas críticas encontradas na literatura.



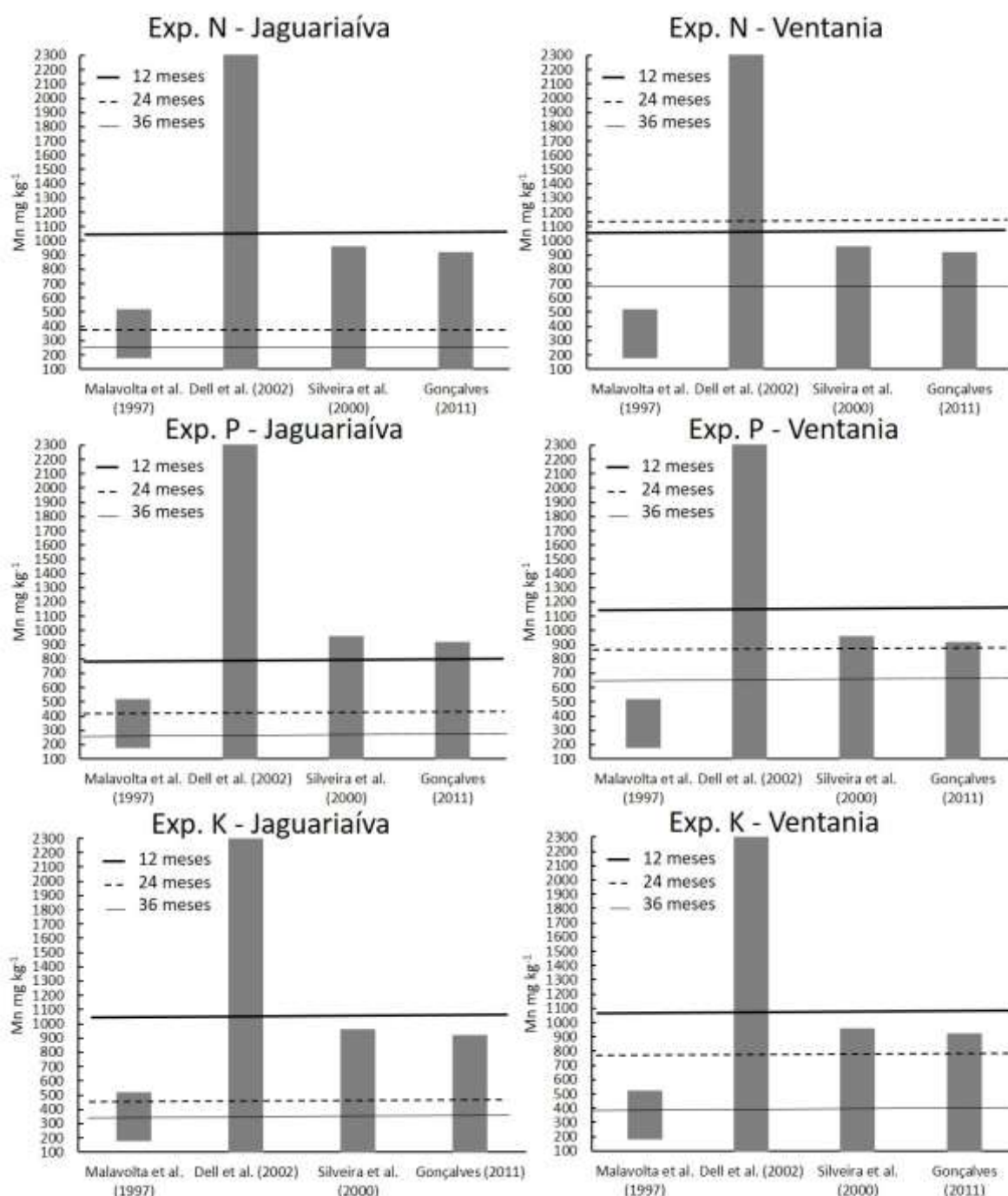
APÊNDICE 7. Comparação das concentrações foliares de Cu para os sítios Jaguariaíva e Ventania, PR, em relação as faixas críticas encontradas na literatura.



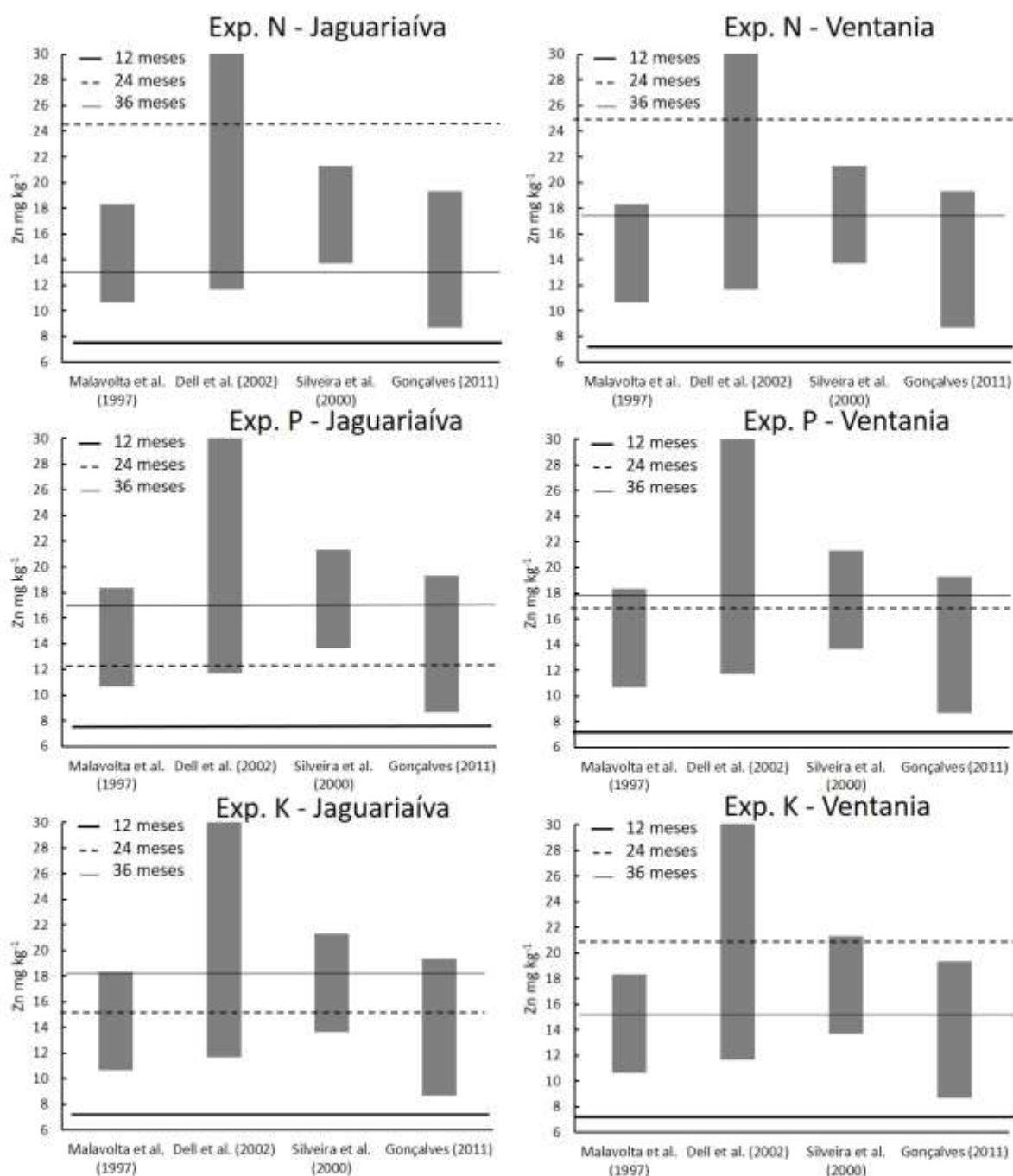
APÊNDICE 8. Comparação das concentrações foliares de Fe para os sítios Jaguariaíva e Ventania, PR, em relação as faixas críticas encontradas na literatura.



APÊNDICE 9. Comparação das concentrações foliares de Mn para os sítios Jaguariaíva e Ventania, PR, em relação as faixas críticas encontradas na literatura.



APÊNDICE 10. Comparação das concentrações foliares de Zn para os sítios Jaguariaíva e Ventania, PR, em relação as faixas críticas encontradas na literatura.



APÊNDICE 11. Média das concentrações dos outros elementos nos sítios de Jaguariaíva e Ventania nos períodos de 6, 12, 24 e 36 meses.

Sítio	Meses	Nutrientes	Experimento		
			N	P	K
			Concentração (mg kg ⁻¹)		
Jaguariaíva	6	As	0,708	0,792	0,812
		Ba	9,966	9,324	10,917
		Cd	0,138	0,170	0,175
		Co	0,333	0,239	0,428
		Cr	2,197	1,950	1,733
		Hg	7,185	2,198	2,104
		Ni	2,005	2,169	1,929
		Sb	0,219	0,385	0,337
		Se	0,295	0,806	0,432
		Si	173,627	183,436	168,848
		V	0,325	0,378	0,334
Jaguariaíva	12	As	1,306	1,224	1,368
		Ba	35,478	23,762	34,638
		Cd	0,051	0,050	0,038
		Co	0,424	0,414	0,467
		Cr	0,303	0,097	0,175
		Ni	2,125	1,855	1,586
		Pb	0,542	0,303	1,302
		Sb	0,000	0,000	0,038
		Se	2,065	1,210	1,039
		Si	295,269	250,254	332,813
Ventania	12	As	1,184	1,217	1,731
		Ba	43,254	35,298	33,807
		Cd	0,054	0,039	0,037
		Co	0,635	0,444	0,504
		Cr	0,064	2,680	1,016
		Ni	1,070	1,888	2,034
		Pb	0,680	1,097	0,864
		Sb	0,041	0,019	0,014
		Se	1,253	1,559	1,922
		Si	246,197	216,842	330,261
Jaguariaíva	24	As	0,139	0,227	0,184
		Cd	0,049	0,045	0,047
		Co	0,308	0,236	0,271
		Cr	0,270	0,300	36,247
		Ni	2,732	1,974	11,287
		Pb	0,146	0,146	0,195
		Sb	0,114	0,260	0,381
		Se	0,112	0,117	0,179

Sítio	Meses	Nutrientes	Experimento		
			N	P	K
			Concentração (mg kg ⁻¹)		
Ventania	24	As	0,406	0,123	0,236
		Ba	43,534	28,375	27,075
		Cd	0,060	0,058	0,035
		Co	0,242	0,221	0,225
		Cr	0,483	0,212	0,239
		Ni	1,858	1,846	1,711
		Pb	0,313	0,213	0,199
		Sb	0,212	0,136	0,233
		Se	0,423	0,079	0,137
Jaguariaíva	36	Ag	0,037	0,041	0,049
		As	0,420	0,626	0,281
		Ba	21,412	22,472	28,890
		Cd	0,014	0,014	0,041
		Co	0,327	0,286	0,216
		Cr	0,277	6,687	0,360
		Ni	2,433	4,103	2,227
		Pb	0,120	0,222	0,027
		Sb	0,341	0,336	0,413
Ventania	36	Se	0,390	0,335	0,189
		Ag	0,086	0,059	0,058
		As	0,426	0,617	0,471
		Ba	22,485	11,278	12,537
		Cd	0,036	0,043	0,034
		Co	0,366	0,190	0,189
		Cr	0,505	0,226	0,217
		Ni	0,885	0,735	1,044
		Pb	0,054	0,093	0,080
		Sb	0,476	0,377	0,397
		Se	0,529	0,335	0,291

APÊNDICE 12. Ilustração da coleta foliar de *Eucalyptus urograndis*.

